

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



اسکن شد

تاریخ: ۸۶/۱۲/۵
توسط:

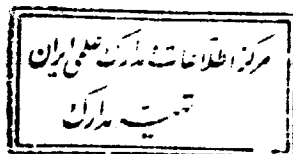


۲۹ ۵۵۲

۱۳۷۹ / ۶ / ۲۰



وزارت فرهنگ و آموزش عالی
دانشگاه علوم و فنون مازندران



پایان نامه

مقطع کارشناسی ارشد

رشته: مهندسی شیمی

۱۷۲۳۶

عنوان / موضوع:

مدل سازی رایانه ای و طراحی متالورژیکی استخراج مس
توسط حلال آلی

استاد راهنما: دکتر محمد خشنودی

دانشجو: رضا توضیح

بهار ۱۳۷۹

هیچ کلامی قادر نخواهد بود صبر و شکیبایی خانواده ام را که در این
مدت با عشق و علاقه پشتیبان من بودند ارج گزارد. این موفقیت را
ره آورد تلاش و فداکاریهای ایشان می دانم و آن را تقدیم می کنم

به:

پدر عزیزم که نشانه ایثار است
مادر مهربانم که سرچشمه پاکیزه است
برادر بزرگوارم که الگوی مقاومت است
خواهر خوبم با همه صمیمیتهايش

سپاسگزاری

شکر خدا که هر چه طلب کردم از خدا

بر منتهی همت خود کامران شدم

عزیزان بسیاری در انجام این پژوهش مرا یاری دادند که از تمامی آنها سپاسگزارم. سرورانی که نامشان آورده شده است، نقش مهمتری در اجرای این تحقیق داشته‌اند. استاد گرانقدر جناب آقای دکتر محمد خشنودی، نه همچون یک استاد بلکه همانند دلسوزترین همکار از ابتدای کار، راهنمایم بوده‌اند امیدوارم ایشان سپاس مرا بپذیرند. از آنجا که از شروع پروژه، کارکنان عزیز امور مطالعات و تحقیقات مجتمع مس سرچشمه کمال همکاری را با اینجانب داشتند، از این سروران عزیز به ویژه جناب آقای مهندس نوبری، جناب آقای مهندس آتش‌دهقان و جناب آقای مهندس دانش‌پژوه نهایت تشکر و قدردانی را دارم. در واحد لیچینگ از همکاری صمیمانه جناب مهندس مولایی‌نسب، و مهندس وحیدی‌نژاد تشکر می‌کنم.

سرکار خانم محمدی مسئول بخش رایانه‌ای کتابخانه مجتمع مس سرچشمه، با ارائه توضیحات کامل و مناسبی در زمینه مطالب رایانه‌ای، کمک شایانی به اینجانب کرده‌اند که بدینوسیله از ایشان تشکر می‌کنم.

در پایان از اساتید عزیزم سرکار خانم دکتر کاغذچی، جناب آقای دکتر نورایی و جناب آقای دکتر مهدی‌پور که با راهنمایی‌ها و پیشنهادات سازنده خود اینجانب را در پیشبرد پایان‌نامه یاری داده‌اند، نهایت تشکر را دارم. همچنین از همکاری جناب آقای مهندس محمدی در رفع ایراد پایان‌نامه سپاسگزاری می‌کنم.

چکیده

در فرآوری مس از سنگهای اکسیدی و بویژه کربناتها از روش هیدرومتالورژی استفاده می‌شود. بدین ترتیب که ابتدا خرده سنگهای حاصله از انفجار را بصورت توده های عظیمی (Heap) درکنار معدن قرار می دهند. سپس اسیدسولفوریک رقیق شده را از بالای توده بصورت اسیدپاشی قطره ای روی توده می پاشند. آمیزه آب و اسید، مس را در خود حل کرده و از پایین توده و از روی یک لایه مقاوم در برابر اسید خارج می شود. چون غلظت مس در این فاز آبی کم است، از اینرو برای فرآوری با صرفه مس از آن، غلظت مس در این فاز آبی را توسط عملیات فرآوری مایع- مایع، افزایش می دهند. در این فرآیند از یک فاز آلی که فرآیند انتقال مس را بخوبی انجام می دهد، به عنوان یک فاز واسطه استفاده می کنند. این فاز آلی در مرحله استخراج، مس را از فاز آبی اولیه می گیرد و آن را در فاز آبی نهایی (الکترولیت) غلیظ می کند. حل مسایل واحد SX، ترسیمی است و به دقت و زمان زیادی نیاز دارد. برای رفع این مشکل نرم افزاری تهیه شده است. ویژگیهای این نرم افزار و کاربردهای مختلف آن، آزمایش و بررسی شده است.

Computer Simulation Of The Copper Solvent Extraction Process

Abstract

In recovery of copper from its oxide and carbonate the modern technology named hydrometallurgy is applied. In heap leaching process dilute sulfuric acid is distributed and sprayed over the dump of crushed ores. Leached liquor containing copper sulfate flows down into the pools and then pumped toward the solvent extraction (SX) unit. Because of its low copper content, the liquor is concentrated by an intermediate organic compound. The copper ions are extracted from the pregnant leach solution (PLS) by this organic phase, and then transferred aqueous phase (Electrolyte) called stripping process. The usual method to solve transfer problems of the SX unit are accurate but tedious graphical techniques. In this project a computer code written in *Visual Basic 5* is prepared to overcome the graphical difficulties. This software named *Solex* can solve different types of problems encountered in a solvent extraction plant.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار	دوازده
فصل اول- فرآیند خیس شویی (Leaching Process)	۱
مقدمه	۳
تاریخچه	۳
۱-۱- روشهای فرآوری مس	۳
۲-۱- فرآیند خیس شویی	۴
۱-۲-۱- اصول عمومی	۵
۲-۲-۱- آماده سازی جامد	۶
۳-۱- دمای فرآوری از جامد	۷
۴-۱- عوامل مؤثر در سرعت فرآوری	۷
۵-۱- انتقال جرم در فرآیند خیس شویی	۸
۶-۱- حلالهای رایج در فرآیند خیس شویی	۱۰
۷-۱- روشهای عمل و دستگاه مورد استفاده	۱۲
۱-۷-۱- سیستمهای ناپایدار	۱۲
۲-۷-۱- حل کردن درجا	۱۳
۳-۷-۱- فرآوری از جامدات بصورت توده ای	۱۵
۴-۷-۱- مخازن نفوذ	۱۶
۸-۱- بررسی عمیبات خیس شویی مس سرچشمه	۱۸
فصل دوم- آشنایی با استخراج کننده ها و رقیق کننده ها	۲۳
۱-۲- استخراج کننده ها	۲۳
۱-۱-۲- ویژگیهای یک استخراج کننده	۲۳
۲-۱-۲- دسته بندی استخراج کننده ها	۲۳

صفحه	عنوان
۲۴	۱-۲-۱-۲- استخراج کننده هایی که ترکیباتی را در خود حل می کنند.
۲۶	الف) استخراج کننده های Lix
۲۷	ب) استخراج کننده های Kelex
۲۸	ج) استخراج کننده Shell
۲۹	د) استخراج کننده Acorga
۲۹	۲-۲-۱-۲- استخراج کننده هایی که براساس تبادل یونی کار می کنند.....
۳۰	۲-۲-۱-۲- استخراج کننده هایی که براساس حل یونهای فلزی کار می کنند.....
۳۱	۲-۲- رقیق کننده ها.....
۳۲	۲-۲- اصلاح کننده ها
۳۳	فصل سوم- فرآیند فرآوری با حلال (Solvent Extraction).....
۳۳	مقدمه.....
۳۴	۱-۳- موارد استفاده از فرآوری یا استخراج از مایع.....
۳۴	۱-۱-۳- در رقابت با دیگر عملیات انتقال جرم.....
۳۴	۲-۱-۳- جایگزینی برای روشهای شیمیایی.....
۳۵	۳-۱-۳- در جداسازی هایی که با روشهای دیگر ممکن نیست.....
۳۵	۲-۳- تعادل مایع.....
۳۶	۱-۲-۳- قانون فازی.....
۳۶	۲-۲-۳- قوانین پراکندگی.....
۳۶	۳-۲-۳- سیستمهای سه جزئی.....
۳۷	۱-۳-۲-۳- مختصات مثلث متساوی الاضلاع.....
	۱-۱-۳-۲-۳- سیستمهای سه گانه مایع با حلالیت جزئی یک
۳۸	زوج (نوع اول).....
	۲-۱-۳-۲-۳- سیستمهای سه گانه مایع با حلالیت جزئی دو زوج
۴۱	(نوع دوم).....
۴۲	۲-۳-۲-۳- مختصاتهای دیگر.....

صفحه	عنوان
۴۳	۴-۲-۳- منحنی های پراکندگی.....
۴۹	۵-۲-۳- نمودارهای مک کیب- تیل (Mc Cabe- Thiele).....
۵۱	۳-۳- موازنه مواد در عملیات انتقال جرم.....
۵۲	۱-۳-۳- فرآیندهای جریان همسو در حالت پایا.....
۵۷	۲-۳-۳- فرآیندهای جریان ناهمسو در حالت پایا.....
۶۰	۳-۳-۳- مرحله.....
۶۰	۴-۳-۳- فرآیندهای جریان همسو و پیوسته.....
۶۳	۵-۳-۳- مجموعه مراحل جریان ناهمسو.....
۶۶	۴-۳- تجهیزات تماس مرحله ای، همزن- ته نشین کننده.....
۶۶	فصل چهارم- آشنایی با نرم افزار.....
۶۶	مقدمه.....
۶۶	۱-۴- ساختار شبیه ساز و ویژگیهای آن.....
۶۶	۲-۴- توانمندیهای نرم افزار.....
۶۷	۳-۴- قسمتهای مختلف شبیه ساز.....
۶۷	۱-۳-۴- پنجره شروع.....
۶۸	الف - ۱- پنجره عملیات.....
۶۸	الف - ۱-۱- طراحی فرآیند - فرآوری جدید.....
۶۸	الف - ۱-۱-۱- پنجره انتخابها.....
۶۸	الف - ۱-۱-۲- پنجره منحنی تعادلی.....
۶۸	الف - ۱-۱-۳- پنجره معادله منحنی.....
۶۹	الف - ۱-۱-۴- پنجره نقاط تعادلی.....
۶۹	الف - ۱-۱-۵- پنجره اطلاعات حلال.....
۶۹	الف - ۱-۱-۶- گزینه هیچکدام.....
۶۹	الف - ۱-۱-۷- پنجره انتخاب مجهولات.....

صفحه	عنوان
۷۰	الف - ۱-۱-۸- جعبه کلید.....
۷۰	الف - ۱-۱-۹- صفحه پرستها.....
۷۰	الف - ۱-۱-۹-۱- دسته پرش ۱.....
۷۰	الف - ۱-۱-۹-۲- دسته پرش ۲.....
۷۱	الف - ۱-۱-۹-۳- دسته پرش ۳.....
۷۱	الف - ۱-۱-۹-۴- دسته پرش ۴.....
۷۲	الف - ۱-۱-۹-۵- دسته پرش ۵.....
۷۲	الف - ۱-۱-۱۰- صفحه پاسخها.....
۷۲	۱- پنجره عملیات.....
۷۳	۲- پنجره پاسخها.....
۷۳	۳- پنجره نمودارها.....
۷۳	۴- پنجره تغییرات.....
۷۴	الف - ۱-۲- طراحی فرآیند بازیابی جدید.....
۷۴	الف - ۲- پنجره ابزار.....
۷۵	الف - ۲-۱- پنجره فیلم.....
۷۵	الف - ۲-۲- پنجره موسیقی.....
۷۵	الف - ۳- بانک اطلاعاتی.....
۷۵	الف - ۳-۱- بانک اطلاعاتی فرآیند استخراج و بازیابی.....
۷۵	الف - ۳-۲- بانک اطلاعاتی حلال.....
۷۵	الف - ۴- گزارشهای روزانه واحد فرآوری با حلال.....
۷۶	الف - ۵- پنجره اطلاعات.....
۷۶	الف - ۶- پنجره کمک.....
۷۶	ب- کلیدهای تصویری (Icons).....
۷۶	ج- نوار اتصال.....
۷۶	۴-۴- محدودیتهای نرم افزار.....
۷۷	فصل پنجم- نتیجه گیری و پیشنهادات.....

- پیوست ۱- روند نمای نرم افزار
- پیوست ۲- مقاله های ارائه شده در سمینارها
- پیوست ۳- تصاویری از نرم افزار Isocalc
- پیوست ۴- تصاویری از نرم افزار Solex
- پیوست ۵- گزارش کار روزانه واحد Sx

فهرست جداول

صفحه	جدول
۳	۱-۱- تولید مس کاتدی در ایران
۲۴	۲-۱- استخراج کننده های متداول در فرآیند فرآوری با حلال
۲۶	۲-۲- تاریخچه بکارگیری استخراج کننده ها
۳۱	۳-۲- استخراج کننده هایی که شامل اتصالات اکسیژن- فسفر می باشند
۶۲	۱-۳- روابط بین بازده مراحل

فهرست اشکال

شکل	صفحه
۱-۱- جریان نمای چرخش فازهای آبی و آلی در واحد SX	۲۱
۲-۱- نمای شرقی محل یک توده برای فرآیند خیس شویی	۲۲
۱-۳- مختصات مثلث متساوی الاضلاع	۳۷
۲-۳- قانون آمیختن	۳۸
۳-۳- انحلال جزئی A و B	۳۹
۴-۳- اثر دما بر روی تعادل سه تایی	۴۱
۵-۳- انحلال جزئی B-A و B-C	۴۱
۶-۳- اثر دما بر روی تعادل سه تایی	۴۲
۷-۳- مختصات قائم	۴۲
۸-۳- مختصات قائم براساس بودن حلال	۴۳
۹-۳- منحنی های تعادلی	۴۴
۱۰-۳- تأثیر pH بر فرآوری فلزات	۴۵
۱۱-۳- تأثیر pH بر ضریب استخراج	۴۶
۱۲-۳- تأثیر ضریب استخراج بر غلظت استخراج کننده	۴۶
۱۳-۳- منحنی های دما ثابت	۴۷
۱۴-۳- نمای عمومی یک منحنی دما ثابت	۴۸

شکل

صفحه

- ۴۹ ۱۵-۳- نمودار مک کیب- تیل برای استخراج فلز
- ۵۰ ۱۶-۳- ضریب فرآوری حلال زیاد است
- ۵۰ ۱۷-۳- ضریب فرآوری حلال کم است
- ۵۲ ۱۸-۳- نمودار مک کیب- تیل برای بازیابی فلز از یک حلال باردار
- ۵۳ ۱۹-۳- دستگاه انتقال جرم در حالت پایا و جریان همسو
- ۵۵ ۲۰-۳- نمودار انتقال جرم از R به E در حالت پایا و جریان همسو
- ۵۶ ۲۱-۳- نمودار جرم از E به R در حالت پایا و جریان همسو
- ۵۷ ۲۲-۳- نمونه ای از منحنی تبادل
- ۵۸ ۲۳-۳- دستگاه انتقال جرم در حالت پایا و جریان ناهمسو
- ۵۹ ۲۴-۳- نمودار انتقال جرم در حالت پایا جریان ناهمسو
- ۵۹ ۲۵-۳- نمونه ای از منحنی تبادل
- ۶۳ ۲۶-۳- مجموعه مراحل جریان ناهمسو
- ۶۴ ۲۷-۳- رسم مراحل واقعی
- ۶۵ ۲۸-۳- نمایی از چند همزن- ته نشین کننده

پیشگفتار

هشدار آلودگی محیط زیست باعث شده که صنعت مجبور گردد در روشهای تهیه فلزات، تغییرات بنیادی پدید آورد. صنعت متالورژی در آلودگی محیط زیست عامل مهمی بوده است. از این رو روشهای حرارتی را باید تغییر داد و از دیگر روشها مانند هیدرومتالورژی (حل کردن فلز در حلالهای خاص و بازیابی آن)، الکترودیالیز و غیره استفاده شود. بسیاری از این روشها هم اکنون در مرحله ابتدایی قرار دارد و مقدار فلزاتی که با این روشها تولید می شود در مقام مقایسه با روشهای حرارتی بسیار ناچیز است. اما با گرایش فعلی صنعت و اجبار آن به جلوگیری از آلودگی محیط زیست به نظر می رسد که در آینده وضع تغییر کند و سهم تولید فلزات از روش هیدرومتالورژی و دیگر روشهای غیرحرارتی که کمتر باعث آلودگی می شوند بگونه چشم گیری افزایش یابد.

هم اکنون نزدیک به ۲۰٪ مس دنیا از روش هیدرومتالورژی تهیه می شود. اساس این روش عبارتست از حل کردن ماده معدنی در یک حلال مناسب و جدا کردن آن از باطله سنگ معدن و بازیابی مس از این حلال. در هیدرومتالورژی مس، گوگرد بصورت عنصری بدست می آید و یا تبدیل به سولفاتهای فلزی می شود و دیگر دی اکسید گوگرد (SO_2) بوجود نمی آید و بدین ترتیب از آلودگی هوا و محیط زیست که ویژگی کوره های حرارتی است، جلوگیری می شود. در روش هیدرومتالورژی، بیشتر سنگهای کم عیار و یا بقایای سنگهای کم عیار قدیمی که استخراج شده و بی استفاده مانده است، بکار برده می شود. با وجود آنکه صنعت پرعیار کردن مواد معدنی بخصوص روش شناور سازی (Flotation) پیشرفت بسیاری داشته و فرآوری فلزات را از سنگهای کم عیار از روش ذوب امکان پذیر ساخته است، اما با اینحال مقدار زیادی سنگهای کم عیار وجود دارد که پرعیار کردن آنها با اشکالات فراوان روبرو است. این اشکالات بیشتر از ترکیب و جنس (سیلیکاته، اکسیده و ...) و یا چگونگی پراکندگی کانه در سنگ ناشی می شود و سرانجام معادن قدیمی رها شده که در اثر عمق زیاد معدن و یا کم عیار بودن سنگ و عوامل اقتصادی دیگر، فرآوری مواد معدنی از آنها مقرون به صرفه نیست، می تواند برای روش هیدرومتالورژی، ماده اولیه مناسبی باشد. یکی از برتریهای مهم این روش صرفه جویی در مصرف سوخت می باشد. در حالیکه ذوب سنگهای کم عیار نیازمند کاربرد انرژی بمقدار زیاد می باشد، در روشهای هیدرومتالورژی مصرف انرژی کمتر است. در هر حال برتری عمده روش هیدرومتالورژی کاهش آلودگی محیط زیست است [۱].

فصل اول

فرآیند خیس شویی

(Leaching Process)

مقدمه

از راه اندازی اولین واحد استخراج مس توسط حلال های آلی در سال ۱۹۶۸ میلادی (۶۰۰۰ تن در سال واحد SX-EW معدن Blue Bird, Arisona, USA) تاکنون پیشرفتهای زیادی در طراحی مکانیکی تجهیزات، طراحی فرآیند و به ویژه حلالهای آلی استخراج کننده مس حاصل شده است. تا ابتدای دهه ۹۰، در مدت دو دهه، ۲۶ واحد SX-EW (Solvent Extraction- Electrowinning) به بهره برداری رسیده است. از جمله این واحدها کارخانه Leaching - SX-EW مجتمع مس سرچشمه کرمان است [۱].

بافت معدنی مس سرچشمه از نوع کانه های سولفیدی است و مقدار زیادی (۲۷ میلیون تن) کانه های اکسیدی در آن وجود دارد. فن آوری ذوب در مجتمع مس سرچشمه براساس بدست آوردن مس از سنگهای سولفیدی بنا گردیده است. از این رومس سنگهای اکسیدی لایه های بالایی معدن و رگه های اکسیدی همراه سنگ سولفیدی به عنوان باطله در مکانهای مشخصی جمع آوری شده است که عیار مس در آنها کم است و در کل دارای ۱۶۵ هزارتن مس می باشد. با اجرای طرح خیس شویی امکان فرآوری مس از این توده فراهم شده است. عمر بهره برداری از این طرح محدود می باشد و در حدود ۱۰ الی ۱۲ سال است. ظرفیت این واحد ۴۰ تن مس کاتدی در روز است.

ویژگیهای این طرح چنین است:

- ۱- فرآیند خیس شویی روش جدیدی برای فرآوری مس می باشد که با اجرای آن فن آوری نوینی به کشور منتقل می شود.
- ۲- امکان بهره گیری از فرآیند خیس شویی جهت فرآوری مس از کانه های سولفیدی کم عیار (باطله کنونی) با آماده سازی ویژه ای میسر می باشد.
- ۳- آلودگی محیط زیست در اثر تولید گازهای آلاینده و به ویژه گاز دی اکسید کربن به همراه ندارد.
- ۴- با این فرآیند، امکان تولید مس کاتد با درجه خلوص ۹۹/۹۸ درصد از مواد معدنی موجود میسر می باشد.
- ۵- ماده اولیه مصرفی در این طرح، باطله های استخراج شده از معدن می باشد که ضمن فرآوری مس از آنها مشکل انباشته شدن را هم حل می نماید [۲].

تاریخچه

شناسایی معدن مس سرچشمه از روی آبی بنام زنگار که محتوی رسوبات کات کبود یا سولفات مس بوده، صورت گرفته است. کانسار پورفیری (Porphyry) سرچشمه کرمان یکی از بزرگترین کانسارهای جهان است و ذخیره آن ۸۰۰ میلیون تن ماده معدنی با عیار ۱/۱۲٪ (۸/۹ میلیون تن مس) برآورد شده است. این توده معدنی حاوی ۰/۰۳ درصد مولیبدن و مقادیر کمی طلا و نقره می باشد که قابل بازیابی هستند.

شرکت آمریکایی آناکوندا بعد از خروج از شیلی اقدام به مذاکراتی برای اجرای طرح مس سرچشمه کرد. این مذاکرات در سال ۱۳۵۳ انجام گرفت. عملیات اجرایی مس سرچشمه را شرکت پارسونز جردن برعهده گرفت. این واحد در تابستان ۷۶ راه اندازی شد.

با توجه به جدول (۱-۱)، امکانات کشور قابلیت تولید ۱۰۰/۰۰۰ تن مس کاتدی در سال را دارد [۲].

نام محصول	ظرفیت اسمی (تن)	ظرفیت عملی (تن)
سنگ سولفیدی	15×10^6	135×10^5
کنسانتره مس	276×10^3	35×10^3
مس بلیستر و آند	145×10^3	12×10^3
مس کاتدبا روش معمولی	171×10^3	14×10^3

جدول (۱-۱)-تولید مس کاتدی در ایران

۱-۱- روشهای فرآوری مس

متالورژی یعنی علم فرآوری فلزات از سنگ معدن و تصفیه آنها تا حالت مطلوب. با توجه به این تعریف علم متالورژی به دو شاخه مهم پیرو متالورژی و هیدرومتالورژی تقسیم می شود که روش اول بر عملیات حرارت دهی و روش دوم بر اساس فرآوری

فلز از محلولهای آلی استوار است [۳]. با توجه به مربوط نبودن موضوع این پایان نامه به روش پیرومتالورژی، به مسئله هیدرومتالورژی فلز می پردازیم.

اگرچه مس بیشتر اوقات به شکل سولفیدی یافت می شود، به صورت اکسیدی نیز به حالت کربناتها، اکسیدها، سیلیکاتها و سولفاتها به ویژه در آفریقا وجود دارد. این کانیهای اکسیدی، زمانی که به مقدار کافی در سنگ معدن وجود داشته باشند می توانند به روشهای پیرومتالورژی در کوره دمشی، احیاء و به مس ناخالص تبدیل شوند. در گذشته این عمل انجام می شد. اما کانه های اکسیدی که هم اکنون از معادن فرآوری می شوند، برای احیای مستقیم پیرومتالورژیکی بیش از اندازه کم عیارند، به علاوه بیشتر کانه های اکسیدی نمی توانند به شکل مؤثری تحت عملیات هیدرومتالورژیکی (برای تغلیظ) قرار گیرند [۴].

روش استفاده شده برای فرآوری به عوامل چندی بستگی دارد:

۱- نسبت عناصر تشکیل دهنده قابل حل موجود در ماده به میزان پراکندگی آنها در ماده جامد. (برای نمونه میزان مس موجود در سنگ معدن به میزان پراکندگی مس در سنگ معدن).

۲- طبیعت و جنس ماده جامد.

۳- اندازه ذرات.

۱-۲ - فرآیند خیس شویی

در بسیاری از عملیات واحدهای صنعتی که مربوط به مهندسی شیمی می باشد، هدف اصلی تغییر دادن غلظت اجزای موجود در محلولها و مخلوطهای مختلف و بدست آوردن فرآورده های جدید است. از آنجا که در بیشتر این عملیات حفظ ماهیت شیمیایی اجزا، مورد نظر می باشد، این تغییر غلظت در اثر واکنش شیمیایی ایجاد نمی شود بلکه از راه تفکیک و جداسازی فیزیکی اجزای تشکیل دهنده آن محلول (یا مخلوط) از یکدیگر، عملی می گردد.

معمولاً در بیشتر فرآیندهای انتقال جرم خالص تر کردن یک ماده اولیه و تبدیل آن به فرآورده های مختلف و یا تفکیک یک فرآورده نهایی از یک فرآورده جنبی، مورد نظر

می باشد. قسمت بزرگ هزینه مربوط به ایجاد یک واحد شیمیایی، ارتباط مستقیم به میزان تفکیک و تصفیه مواد و افزایش درجه خلوص مورد نظر دارد.

به سبب ویژگیهای ترمودینامیکی، میزان پراکندگی اجزای مختلف بین دو فاز، متفاوت می باشد. به این ترتیب می توان انتظار داشت که در نتیجه تماس دو فاز، غلظت اجزای موجود در هر یک از آنها تغییر کرده، به غلظت مربوط به حالت تعادل نزدیک گردد. نمونه ای از تماس دو فاز عبارت است از:

انتقال جرم بین دو فاز مایع و جامد - نمونه ای از این نوع انتقال در عملیات تبلور روی می دهد. چنانچه در تشکیل فاز جامد جدید، که در اثر زدودن حرارت صورت می گیرد، اجزای موجود در فاز مایع به میزان متفاوت در فاز جامد پراکنده شود، و در حالت برقراری تعادل بین دو فاز، تمام اجزا در هر دو فاز موجود باشد، عمل انتقال جرم را تبلور جزء به جزء می نامند.

ساده ترین حالت هنگامی وجود دارد که تنها یک جزء بین دو فاز جامد و مایع جابجا شود. نمونه این حالت را می توان در فرآیند فرآوری از جامدات به کمک حلال و یا شست و شو و عصاره کشی توسط حلال (Leaching) مشاهده کرد. در این فرآیند، حلال مایع تنها یکی از اجزای موجود در فاز جامد (جزء مورد نظر) را در خود حل می کند و آنرا از فاز جامد به فاز مایع جابجا می کند [۴].

۱-۲-۱- اصول عمومی

فرآیند فرآوری از جامد عبارت است از حل شدن انتخابی یک یا چند جزء از یک مخلوط جامد که در تماس با یک محلول مایع قرار گرفته است. این فرآیند یکی از قدیمی ترین عملیات واحد در صنایع شیمیایی است. با توجه به روش کار، نامهای مختلفی به آن داده می شود. مفهوم فرآوری از جامد، از نفوذ مایع به درون بستر ثابتی از جامدات ریشه می گیرد. اما امروزه معانی مختلفی برای بیان این عملیات بکار می رود. آب شویی اگر چه مفهوم شستن قلیا از خاکستر چوب را شامل می شود ولی کمتر به عنوان مترادفی برای فرآوری از جامد بکار می رود.

عبارت فرآیند خیس شویی یا فرآوری نیز با اینکه برای بسیاری از عملیات جداسازی دیگر، که از روش انتقال جرم یا واکنشهای شیمیایی صورت می گیرد، کاربرد دارد، اما در اینجا نیز استفاده می شود. عبارت جوشاندن فقط برای حلال در نقطه جوش خود استفاده می شود [۵].

وقتی که حل شونده ای به نسبت زیاد روی سطح جامد، نامحلول باشد و فقط با حلال شسته شود، به آن خالص سازی با شستشو یا شستن گفته می شود. این فصل هم شامل چنین عملیات شستشویی می شود. چرا که این عملیات اغلب با فرآوری از جامد همراه است.

شاید صنایع تولید فلزات، بیشترین استفاده کننده فرآیند فرآوری از جامد باشد. بیشتر مواد معدنی با ارزش، به نسبت زیادی با اجزاء ناخواسته مخلوط می باشد، که روش فرآوری از جامد برای جداسازی اجزاء باارزش، مناسب می باشد. برای نمونه، مس توسط فرآوری با اسید سولفوریک یا محلولهای آمونیاکی، از بقیه مواد موجود در سنگ معدن جدا میشود. بسیاری از محصولات آلی طبیعی به این روش از منشأ ساختمانی خود فرآوری می شود [۵].

۱-۲-۲- آماده سازی جامد

چگونگی عمل فرآوری از جامد و روش بکار رفته تا حد زیادی به عملی که پیش از این روی جامد انجام شده بستگی دارد. گاهی، ذرات کوچک ماده حل شونده توسط یک جسم بطور کامل در برگرفته شده است. بنابراین حلال باید در جسم مربوطه نفوذ کرده و محلول حاصل نیز باید پیش از جداسازی به بیرون نفوذ کند. این وضعیتی است که صنایع فلزی در بسیاری از موارد با آن روبرو هستند. خرد کردن و آسیاب کردن چنین جامداتی عمل فرآوری را بهبود چشم گیری می بخشد. برای نمونه سنگ معدن مس را می توان با گذراندن خاک آن از غربال شماره ۶۰ در مدت ۴ تا ۸ ساعت (با محلول اسید سولفوریک) فرآوری نمود. اما اگر بصورت دانه های ۶ میلی متری باشد، ۵ روز طول می کشد و اگر کلوخه های ۱۵۰ میلی متری بکار رود، ۴ تا ۶ سال زمان لازم است.

از آنجائیکه آسیاب کردن پرهزینه است، اندازه ذرات را از روی درجه مرغوبیت و ارزش سنگ معدن انتخاب می کنند. اگر مواد حل شونده تا اندازه ای به صورت یکنواخت در جامد پراکنده شده باشد و یا حتی به صورت محلول جامد باشد، در مدت فرآیند فرآوری، راهروهایی برای گذر حلال تازه در جسم ایجاد می شود. در این صورت آسیاب کردن برای ایجاد دانه های ریز ضروری نیست (اگر چه انباشت بخشهای نامحلول بعد از جداسازی مواد حل شدنی ایجاد اشکال می کند) [۵].

اگر حلال به شکل یکنواخت در جامد پراکنده شود، موادی که در سطح است، زودتر حل می شود. پس از حل آنها، جسمی متخلخل ایجاد می شود و پیش از اینکه حلال به ژرفای بیشتری از جامد فرو برود، لایه بیرونی دارای خلل و فرج می شود و فرآیند بطور تصاعدی مشکل تر خواهد شد و سرعت فرآوری افت خواهد کرد.

اگر ساختار حل شونده، نسبت خیلی بالایی از جامد را دارا باشد، این ساختار متخلخل ممکن است به ذرات ریز ته نشین شونده، غیرقابل حل و ساکن شکسته شود و از دسترسی حلال به حل شونده جلوگیری کند.

بیشتر اوقات فرآیند در سه مرحله انجام می شود:

- ۱- نفوذ حلال از میان خلل و فرج جسم جامد برای خارج کردن ذرات خواسته.
 - ۲- تغییر فاز جزء حل شونده در هنگام حل شدن در حلال.
 - ۳- انتقال جسم حل شونده به محلول، هنگام تماس ذرات با توده اصلی محلول.
- هر کدام از سه مرحله بالا ممکن است عامل کنترل کننده سرعت فرآوری باشد [۶].

۱-۳- دمای فرآوری از جامد

بیشتر اوقات بهتر است فرآیند فرآوری در دمای هرچه بالاتر انجام بگیرد. چرا که دمای بالاتر باعث حلالیت بیشتر حل شونده در حلال می شود و در نتیجه غلظت نهایی در محلول مادر بیشتر می شود. در دمای بالاتر، گرانش مایع کمتر و نفوذپذیری آن بیشتر است که هر دو عامل باعث افزایش سرعت فرآوری می شود. اما برای برخی مواد مانند چغندر قند، دمای بالا سبب فرآوری حل شونده های ناخواسته یا تخریب شیمیایی جامد می شود [۵].

۱-۴- عوامل مؤثر در سرعت فرآوری

انتخاب تجهیزات مناسب برای فرآیند فرآوری، به مواردی که باعث کاهش سرعت فرآوری می شود، وابسته است. بنابراین اگر نفوذ جزء حل شونده از میان ساختار متخلخل جامد باقی مانده، عامل کنترل کننده باشد، جامد باید اندازه کوچکی داشته باشد. چنانچه مسافتی که حل شونده می پیماید، کم باشد، به زبان دیگر اگر سرعت نفوذ جسم حل شونده از سطح ذرات، به توده محلول، (برای کنترل فرآیند) کم باشد، افزایش سرعت فرآوری، نیازمند ایجاد درجه بالایی از آشفتگی سیال است [۶].

چهار عامل مؤثر و مهم در زیر آورده شده است:

اندازه ذرات: اندازه ذرات در سرعت فرآوری مؤثر است. کوچکتر شدن اندازه، موجب افزایش سطح جانبی (سطح تماس) بین جامد و مایع شده، بنابراین باعث افزایش سرعت انتقال جرم می شود. بعلاوه این امر موجب کوچکتر شدن فاصله ای است که حل شونده باید از درون جامد مذکور نفوذ کند، تا به توده حلال برسد. از طرف دیگر اگر حرکت مایع کند باشد، ممکن است سطح، آن تأثیر را برای یک ماده ریز نداشته باشد. بیشتر اوقات شرایط خواسته، زمانی بدست می آید که اندازه ذرات کوچک باشد.

حلال: سیال انتخاب شده باید یک حلال مناسب باشد و گرانشی آن باید بقدر کافی کم باشد تا به راحتی در واحد گردش کند. نخست یک حلال با درجه خلوص بالا استفاده خواهد شد، اما با پیشرفت فرآیند فرآوری، غلظت ماده حل شونده افزایش خواهد یافت و سرعت فرآوری بصورت تصاعدی کاهش خواهد یافت. نخستین دلیل برای کاهش آهنگ فرآوری آن است که تغییرات غلظت کاهش خواهد یافت و دومین دلیل آن است که گرانشی محلول پیوسته افزایش می یابد و محلول چسبنده تر خواهد شد.

دما: در بیشتر موارد، حلالیت موادی که استخراج کننده هستند با افزایش دما، افزایش خواهد یافت و در نتیجه سرعت فرآوری چشمگیری می شود. همچنین انتظار می رود که ضریب نفوذ، با بالا رفتن دما، افزایش یابد.

آشفتگی سیال: آشفتگی حلال مهم است، چون این عمل موجب افزایش نفوذ چرخانه ای می شود. بنابراین عملیات انتقال جرم از سطح ذرات به توده محلول افزایش می یابد. گذشته از این، عمل بر هم زدن، موجب معلق شدن ذرات ریز شده از ته نشین شدن آنها جلوگیری می کند و بدین ترتیب از سطوح جانبی پدید آمده استفاده مؤثرتری می شود [۶].

۱-۵- انتقال جرم در فرآیند خیس شویی

سرعتهای انتقال جرم درون منافذ باقی مانده در جسم، به سختی مشخص می شود، زیرا تعیین شکل مسیرها و راهروهایی که در آنها عملیات انتقال جرم صورت می پذیرد، نشدنی است. اگرچه بطور تقریبی می توان سرعت انتقال از ذره به توده مایع را بدست آورد.

با استفاده از نظریه فیلم نازک که عامل مقاومت در انتقال می باشد، معادله انتقال

جرم بصورت زیر نوشته می شود:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{KA(Cs - C)}{b} \quad (1-1)$$

A : سطح تماس جامد- مایع.

b : تأثیر ضخامت فیلم مایع اطراف ذرات.

Cs : غلظت محلول اشباع که در تماس با ذرات است.

C : غلظت ماده حل شونده در توده محلول در زمان t.

M : جرم ماده حل شونده انتقال یافته در زمان t.

K : ضریب نفوذ.

اگر V حجم نهایی محلول در یک فرآیند ناپیوسته باشد، با فرض ثابت ماندن این

حجم، با جایگزینی در رابطه (1-1) داریم:

$$dM = VdC \quad (2-1)$$

$$\frac{dC}{dt} = \frac{KA(Cs - C)}{bV} \quad (3-1)$$

زمان t مدتی است که غلظت محلول از شرایط اولیه C_0 به مقدار C برسد که

توسط خاصیت جمع پذیری، پیدا می شود. با فرض اینکه A, b ثابت باقی بمانند:

$$\int \frac{dC}{Cs - C} = \int \frac{KA}{Vb} dt \quad (4-1)$$

توجه شود که در حلال خالص، نخست داریم: $C_0 = 0$

$$\ln\left(\frac{Cs - C_0}{Cs - C}\right) = \frac{KA}{Vb} t \quad (5-1)$$

$$1 - \frac{C}{Cs} = e^{-(KA/bV)t} \quad (6-1)$$

$$C = Cs(1 - e^{-(KA/bV)t}) \quad (7-1)$$

رابطه (7-1) بیان می کند که محلول به صورت نمایی (exponential) به شرایط

اشباع نزدیک می شود. در بیشتر حالات، سطح جانبی در مدت فرآیند فرآوری، تمایل به

افزایش دارد و زمانی که مواد قابل حل، نسبت خیلی بالایی را از جامد نهایی تشکیل

می دهند، تخریب کاملی از ذرات ممکن است روی دهد. اگر چه این نتایج با افزایش

سطح جانبی حاصل می شود، اما سرعت فرآوری ممکن است کاهش یابد. زیرا جریان آزاد حلال مانع خواهد شد و تأثیر مقدار b افزایش خواهد یافت [۶].

۱-۶- حلالهای رایج در فرآیند خیس شویی

روی هم رفته، حلالها را بشرح زیر می توان تقسیم کرد:

الف) اسیدی: ۱- اسید سولفوریک ۲- اسید کلریدریک.

ب) بازی: آمونیاک و املاح آن.

ج) خنثی: آب.

د) املاح: ۱- سولفات فریک ۲- کلرور فریک ۳- کربنات سدیم ۴- کلرور سدیم ۵-

سیانور سدیم ۶- تیوسولفات سدیم.

ه) گاز محلول در آب: ۱- آمونیاک، ۲- کلر، ۳- انیدریک سولفور، ۴- اکسیژن.

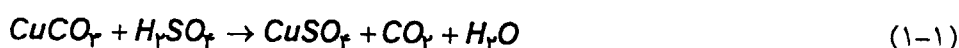
در زیر قسمتهای الف، ب و ج توضیح داده می شود.

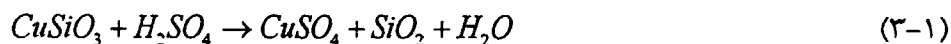
الف- حلالهای اسیدی

۱- اسید سولفوریک، به علت ارزانی متداول ترین حلال برای حل کردن سنگهای معدنی مس بویژه سنگهای اکسیدی می باشد. این اسید در غلظتهای کم به آسانی کربنات مس و اکسیدهای مس را در خود حل می کند و کم و بیش روی سیلیکاتهای مس اثر می کند. اما در غلظتهای بکار برده شده روی سولفور مس بی اثر می باشد. اگر سنگهای سیلیکاته مس را پیش از حل کردن، مورد فرآیند حرارتی قرار دهیم (°C ۸۰۰-۶۰۰) قابلیت حل شدن آن در اسید سولفوریک افزایش می یابد.

اسید مصرف شده همواره رقیق است و غلظت آن از ۵٪ تجاوز نمی کند. اما گاهی در روشهایی که بازیابی اسید کامل است، آنرا با غلظت های بیشتر (تا ۱۵٪) نیز بکار می برند. هر قدر اسید بکار برده شده رقیق تر باشد، اثر آن روی نمکهای آهن و دیگر ناخالصیها کمتر خواهد بود. اما زمان حل شدن نیز طولانی تر می شود. استفاده از اسید سولفوریک زمانی درست است که با طله سنگ معدن، آهکی نباشد. در غیر این صورت مصرف اسید بشدت بالا رفته، استفاده از آن غیراقتصادی خواهد بود.

واکنشهای اصلی این اسید در فرآیند خیس شویی مس، عبارت است از:



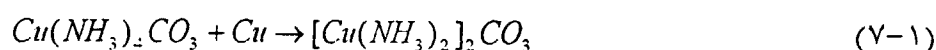
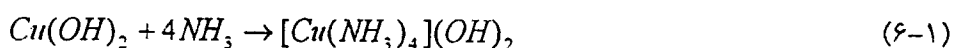
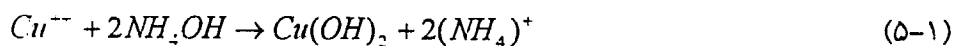
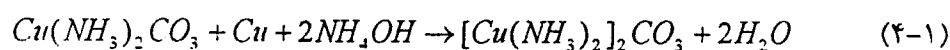


۲- اسیدکلریدریک، این اسید با سرعت بیشتری نمکهای مس را در خود حل می کند. برتری بزرگ این اسید، اثر بر روی سولفورهای مس می باشد. که کم و بیش باعث حل شدن آنها می گردد.

اسید کلریدریک برای حل کردن املاح مس، رفتاری شدیدتر از اسید سولفوریک نشان می دهد اما میزان حل شدن ناخالصیها، بویژه آهن، نیز در آن شدیدتر است. بیشتر اوقات این اسید را همراه با کلرور فریک بکار می برند. اسیدکلریدریک اسیدی گران قیمت است و در روشهایی که بازیابی اسید کم یا مواجهه با اشکال است کمتر بکار می رود. واکنشهای این اسید مانند اسیدسولفوریک است.

ب) حلالهای بازی

۱- آمونیاک، آمونیاک و نمکهای آن بویژه کربنات آمونیم و کربنات آمونیاکی مس به آسانی اکسیدهای مس و کم و بیش سولفور آنرا در خود حل می کند.

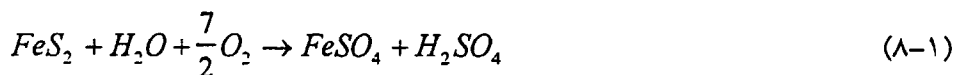


با گرم کردن محلول توسط بخار آب، در مرحله اول آمونیاک (NH_3) و سپس CO_2 خارج شده و می توان آنها را بازیابی کرد. پس از خروج آمونیاک و گاز کربنیک، مس در محلول بصورت اکسید رسوب می کند. تجربه نشان می دهد که آمونیاک و نمکهای آن تنها نمکهای مس را حل کرده و بر روی دیگر ترکیبات موجود در سنگ معدن بی اثر است.

از آمونیاک و نمکهای آن بویژه آنگاه که باطله سنگ معدن آهکی باشد، بخوبی می توان استفاده کرد. زیرا این حلال، کوچکترین اثری روی آهک ندارد. آمونیاک یک حلال گران قیمت است و هنگامی از آن استفاده می کنند که بازیابی حلال کامل بوده و باطله سنگ معدن آهکی باشد.

ج- حلال خشی - آب

آب می تواند نمکهای مس بصورت سولفات یا کلرور را در خود حل کند. از سوی دیگر آب با گذشت زمان روی پیریت (FeS_2) اثر کرده و در مجاورت هوا تولید اسید سولفوریک می کند.



اسید حاصل هم روی اکسیدها و کربنات مس اثر کرده و آنها را تبدیل به سولفات می کند. یا بار دیگر در مجاورت هوا باعث تشکیل سولفات فریک می شود (که قادر به حل کردن نمکهای مس و تبدیل آنها به سولفات می باشد). از این روش برای فرآوری مس از سنگهای باطله معادن مس که دارای مقدار کمی مس است، استفاده می شود. برای این منظور بر روی توده های سنگ باطله آب پاشیده و از زیر، آبهای تراوش شده را جمع آوری و دو مرتبه بر روی توده های سنگ می پاشند و آنقدر این عمل را تکرار می کنند تا در اثر رطوبت و مجاورت هوا قسمتی از سنگهای سولفور، اکسید شده تولید اسید کند و در نتیجه مقداری از مس بصورت محلول در آید و یا آنکه تونل ها و چاههای استخراجی را پر از آب کرده و می گذارند مدت زیادی تا چند سال باقی بماند و سپس آب را خارج و مس محلول را جدا می کنند [۱].

۱-۷- روشهای عمل و دستگاه مورد استفاده

فرآیند فرآوری از جامد در شرایط ناپیوسته (batch) و نیمه پیوسته (ناپایدار) و هم چنین تحت شرایط کاملاً پیوسته (پایدار) می تواند انجام بگیرد. در هر دسته، دستگاههایی از نوع مرحله ای و پیوسته وجود دارد.

دو روش اصلی تماس وجود دارد:

یکی پاشیدن یا چکاندن مایع روی جامد و دیگری فروبردن جامد بطور کامل در مایع. انتخاب نوع دستگاه به حالت فیزیکی جامد و مشکلات و هزینه حمل و نقل آن بستگی دارد. گاهی این مسئله سبب استفاده از گونه های ویژه ای از دستگاهها در صنعت می شود.

۱-۷-۱- سیستمهای ناپایدار

سیستمهای ناپایدار آنهایی هستند که جامدات و مایعات بصورت ناپیوسته و گسته در تماس هستند و یا مقداری جامد با جریان مداومی از مایع در تماس است. ذرات

درشت جامد در بسترهای ثابت با روشهای نفوذ مورد عمل قرار می گیرد. اما ذرات ریز که به راحتی می توانند حالت معلق داشته باشند، به کمک سیستمهای همزن، در مایع پخش می شوند.

۱-۷-۲- حل کردن در جا (Solution Mining)

این عمل که همان فرآوری مواد معدنی از راه نفوذ در محل معدن است با جریان یافتن حلال روی سنگ معدن و نفوذ به داخل آن، صورت می گیرد. این روش در خارج سازی نمک از رسوبات سطح زمین با حل شدن نمک در آبی که به رسوبات پمپ می شود به کار می رود.

همچنین این روش برای فرآوری مس از سنگ معدنهایی که درصد کمی مس (در حدود ۰/۲ درصد) دارد و برای سنگ معدنهایی که تا عمق ۳۳۵ متری (۱۱۰۰ft) زیرزمین است، بکار می رود. در فرآوری فلز اورانیوم به این روش، سنگ معدن باید همانجا اکسیده شود تا بتواند در محلولهای کربنات حل شود. محلول واکنش دهنده پیوسته از یک رشته لوله هایی که بدرون معدن حفاری شده، تزریق می شود و محلول مادر بدست آمده، از یک رشته لوله دیگر خارج می شود. در روش دیگر، ترکیب مورد نظر بطور متناوب به زمین پمپ و از همان چاه به بالا کشیده می شود [۵].

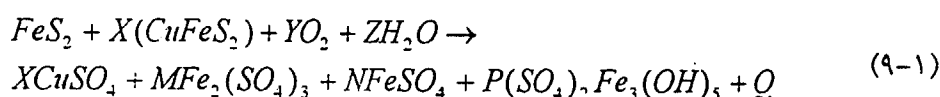
تقاضای زیاد مس در بازار و کمبود احتمالی آن در آینده نزدیک، باعث شده است که ذخیره های موجود در عمق زمین و یا سنگهای فقیر و کم عیار باقی گذاشته شده در معادن قدیمی بار دیگر برای بهره برداری مورد بررسی قرار گیرد. چند عامل اقتصادی مانند فرآوری زیرزمینی بویژه از عمق زیاد، روش باربری و حمل مواد به سطح زمین و هزینه و مشکلات کم این روش، باعث شده است که مسئله حل کردن مس در جا مورد توجه بیشتری قرار گیرد.

کانیهای مس بیشتر به صورت آمیزه اکسیدی سولفورها می باشد و کانی های اکسیده بیشتر در سطح زمین قرار گرفته و هرچه به عمق بیشتری پائین برویم مقدار آنها کمتر و بر مقدار کانیهای سولفور افزوده می شود، چنانکه بعد از عمق معینی (که بستگی به شرایط محلی دارد)، تمام کانیها از ترکیبات سولفور و بویژه کالکوپیریت تشکیل شده اند. پس انتخاب حلال باید با توجه به این مسئله باشد.

ایجاد شکاف و خرد کردن طبقات زیرزمین به منظور نفوذپذیر کردن آن برای حلال، یکی از روشهای رایج می باشد. برای این منظور حتی انفجارهای اتمی در طبقات

زیرزمین و سپس وارد کردن حلال پیشنهاد شده است. سرانجام قابل نفوذ کردن زمین با روشهای معمولی، معدنکاری، حفاری و ایجاد شکاف و ترک، با روشهای هیدرولیکی، راه حلهای دیگر پیشنهاد شده برای حل این مسئله می باشد.

کانیهای موجود در عمق زمین بیشتر بصورت سولفور می باشد. بنابراین باید روش حل کردن درجا، برای فرآوری این کانیها بکار برده شود. روش حل کردن سولفورهای مس، اکسایش اولیه و سپس حل کردن در اسید می باشد. برای این منظور باید همراه با حلال، اکسیژن نیز به درون زمین تزریق گردد. چون اکسیژن از راه حل شدن در حلال و نفوذ در داخل آن با کانه ترکیب می شود، پس باید فشار اکسیژن بالا باشد و در نتیجه تزریق اکسیژن به اعماق زمین و نگهداری فشار آن یکی دیگر از مشکلات اصلی این روش می باشد. عامل حرارت نیز می تواند در حل کردن بسیار مؤثر باشد. چون واکنش اکسایش و حل شدن، گرمازا است و تلفات حرارتی در اعماق زمین (بعلت خاصیت هدایت حرارتی بسیار کم دیواره ها) ناچیز می باشد، این مسئله خودبخود حل شده است. واکنش حل شدن سولفورهای مس در اثر اکسایش حل شدن در اسید بسیار ناهمگن است و ترکیبات بسیاری، شامل سولفاتهای مس و آهن و سولفاتهای بازی و اکسیدهای آهن و گوگرد و مانند آن تولید می کند. چنان که تمام این واکنشها را برای کالکوپیریت بصورت زیر می توان نوشت:



پس دیده می شود که برای هر مولکول مس، دست کم ۸ تا ۱۰ مولکول اکسیژن برای انجام واکنش نیاز می باشد. برای آنکه از رسوب هیدرواکسیدهای آهن یا تشکیل سولفاتهای بازی جلوگیری شود، باید pH محیط از ۱/۵ کمتر نباشد. تشکیل هیدرواکسید آهن یا سولفاتهای بازی باعث رسوب آنها در شکافها و بسته شدن منافذ و شکافها می شود، و در نتیجه واکنش را متوقف می کند.

عمل حل کردن با نفوذ اکسیژن از سطح سنگ مرطوب شده (توسط حلال) به داخل آن و انجام واکنش شیمیایی پیش می رود. نفوذ مایع (حلال) از راه خلل و فرج سنگ به بخشهای درونی آن و حل کردن کانه، در شرایط اعماق زمین، نقش کوچکی دارد. از آنجایی که میزان اکسیژن حل شده در حلال محدود می باشد، فرآیند حل کردن، بوسیله اکسیژن کنترل شده می باشد و سرعت نفوذ آن، سرعت واکنش را تعیین می کند.

هم اکنون، فرآیند حل کردن در جا در معدن های قدیمی و رها شده، بکار می رود. در این روش، معادن قدیمی را از اسید پرکرده و اجازه می دهند مدت زمان زیادی به همان حال باقی بماند. سپس اسید را بوسیله پمپ خارج کرده و مس درون آن را بازیابی می کنند. در این روش غلظت اسید کمتر از ۱٪ است و زمان ماند نیز بیش از یک سال می باشد.

در یک روش دیگر بین دو تونل با اختلاف سطح چندین متر، تعدادی چاهک زده و دو سر تونلها را می بندند. از تونل زیرین حلال وارد شده و از تونل بالایی آنرا جمع آوری می کنند. سرانجام برای بازیابی مس درون آن، اقدام می کنند. فاصله چاهکها از یکدیگر و بلندی آنها بستگی به ویژگی سنگ موجود بین دو تونل و بویژه خاصیت نفوذ پذیری آن دارد.

در یک روش دیگر بویژه در معادن روباز و کم عیار، یک چاه مرکزی حفر می شود و به درون آن اسید رقیق می ریزند. سپس در فاصله ۴۰ تا ۵۰ متری آن، چند چاه با عمق بیشتر گرداگرد چاه اصلی حفر می کنند و حلال را از این چاهک ها جمع آوری می کنند. در روش دیگر از چاههای کناری، حلال را وارد کرده و از چاه مرکزی که عمق آن چند ده متر بیشتر از چاهک های کناری است حلال را بازیابی می کنند.

در هر حال عمق چاه یا چاهک هایی که حلال در آنها بازیابی می شود، بیشتر است و اختلاف عمق به چند ده متر می رسد. فاصله چاه ها از یکدیگر و عمق آنها بستگی به مشخصات زمین و خاصیت نفوذپذیری آن دارد. در این مورد غلظت اسید بکار رفته از ۵/۰ درصد فراتر نمی رود و بازیابی اسید در حدود ۵۰٪ می باشد. به بیان دیگر در حدود نیمی از اسید در داخل زمین هدر می رود. بازده کار و بازیابی مس نیز از ۵۰٪ کمتر می باشد. این روش برای پوشش گیاهی زمین بسیار زیان آوراست و باعث خشک شدن آنها می گردد [۱].

۱-۷-۳- فرآوری از جامدات بصورت توده ای (Heap Leaching)

سنگ معدنهایی را که درصد ماده معدنی خواسته در آنها کم است و ارزش خرد شدن و آسیا کردن را ندارد، روی سطح زمین و بر روی لایه ای نفوذناپذیر به صورت توده ای از کلوخه هایی که از معدن درآورده شده جمع می کنند. مایع استخراج کننده را به روش پاشش قطره ای روی سنگ معدن می ریزند. پس از اینکه مایع از زیر توده خارج شد، آنرا جمع آوری می کنند. معمولاً مس از سنگ معدنهای پیریتی و بصورت

توده ای با وزن $2/2 \times 10^7$ تن، با استفاده از 20000 m^3 ($5 \times 10^6 \text{ gal}$) در روز مایع استخراج کننده فرآوری می شود. برای کاهش مقدار مس در این توده از ۲ به ۰/۳ گرم بر لیتر، حدود ۷ سال یا بیشتر زمان لازم است. در یک گونه فرآوری توده سنگ معدن اورانیوم، لوله های سوراخداری را به ترتیب روی لایه نفوذناپذیر قرار داده و سنگ معدن را به صورت توده روی این لوله ها (به ارتفاع ۶ تا ۸ متر با سطح مقطع دوزنقه ای شکل و عرض پایه ۱۲۰ متر و طول ۸۰۰ متر) قرار می دهند.

محلول استخراج کننده، به حوضچه هایی در کنار توده تزریق می شود و از میان لوله های سوراخ دار، از روی توده، به پائین نفوذ می کند و سپس خارج می شود [۵]. بیشتر پیشرفتهای چشمگیر در عملیات خیس شویی سنگ معدن مس، در سالهای گذشته بدون شک به شکل فرآیند خیس شویی توده ای بوده است. آنگاه که واحد فرآوری با حلال (SX) و واحد جدا سازی یونهای مس با جریان برق مستقیم (EW) در کنار یکدیگر قرار بگیرند، یک روش کم هزینه برای تولید مس با درجه خلوص بالا بوجود می آید. سالهای فراوان روی رفتار کانی های اکسیدی، با فرآیند خیس شویی مخزنی و همزنی کار شده است. معرفی واحد SX عاملی برای افزایش میزان تولید با بازده بالا و پیشرفت سریع فن خیس شویی توده ای، در صنعت استخراج طلا نیز می باشد.

در استرالیا نخستین استفاده از عملیات خیس شویی توده ای برای تأمین خوراک واحد SX-EW (برای سولفیدها) در Girilambone در سال ۱۹۹۴ انجام شد. یکی از ویژگیهای کانیهای سولفیدی، تولید اسید از خود کانی است، بویژه زمانی که پیریت به اندازه کافی وجود داشته باشد. جدای از توده های بزرگ، فرآیند خیس شویی برای توده های کالکوپیریتی که عیار آنها کم است، بکار برده نمی شود. زیرا سرعت فرآیند خیس شویی میکروبی برای آن کم است. عملیات خیس شویی میکروبی، برای توسعه پروژه Lubuk در Sabar که حاوی سنگ معدن کالکوپیریت ویژه ای است، مناسب می باشد [۷].

۱-۷-۴- مخازن نفوذ

جامدات با اندازه متوسط را می توان با روشهای نفوذ در مخازن روباز فرآوری کرد. ساختمان این مخازن با یکدیگر تفاوت دارد و به طبیعت جامد و مایع و همچنین مقیاس عملکرد بستگی دارد، اما تا اندازه ای پرهزینه است. مخازن کوچک اغلب از چوب

ساخته می شود، البته اگر مایع استخراج کننده اثر شیمیایی روی آن نداشته باشد. قطعات جامدی که مورد فرآیند فرآوری قرار می گیرند، روی کف قرار می گیرد که در سیستمهای ساده شامل قطعات چوبی سنباده شده ای است که به موازات یکدیگر و نزدیک به هم چیده می شود، بگونه ای که جامد را نگه دارد. همچنین می توان آنها را روی قطعات همانندی که عمود بر یکدیگر و به فواصل ۱۵۰mm یا بیشتر قرار دارند، چید. سپس مایع به لوله جمع آوری کننده ای که از کف مخزن می آید جاری می شود. برای نگهداری ذرات نسبتاً ریز، قطعات چوبی توسط حصیرهای پوست نارگیل و پارچه های کاموایی، محکم پوشانده شده، در جای خود قرار داده می شود. سپس توسط طناب درزهای اطراف مخزن گرفته می شود.

مخازن کوچک را ممکن است از فلز، با کفهای سوراخ دار بسازند، که روی محلی که با پارچه گرفته شده قرار داده می شوند، در فرآوری مواد دارویی از گیاهان از این مخازن استفاده می شود.

مخازن بزرگ نفوذ (۴۵ در ۳۴ در ۵/۵ متر عمق) برای فرآوری مس از سنگ معدن، از بتن آرمه با پوشش داخلی سربی یا قیری ساخته می شود. در مخازن کوچک ممکن است دریچه های کناری نزدیک ته مخزن برای خروج جامد فرآوری شده قرار دهند، اما بسیاری مخازن بزرگ با حفاری از بالا تخلیه می شود.

مخزن باید از ذرات یکنواخت پر شود، که در این صورت درصد فضای خالی بیشترین مقدار خود را دارد و افت فشار لازم برای جریان مایع استخراج کننده کمترین خواهد بود. این مسئله همچنین سبب فرآوری یکنواخت از ذرات و آسان گذشتن مایع از مجراهای موجود در بستر جامدات می شود. عملکرد این مخازن ممکن است از چند روش انجام بگیرد. بعد از پرشدن مخزن از جامد، مقداری از حلال (به حدی که جامد بطور کامل در مایع فرو رود)، به مخزن پمپ می شود. مدت زمانی نیز برای خیس شدن جرم داخل مخزن در نظر گرفته می شود. در این مدت می توان مایع را با جریان برگشتی روی جامدات گردش داد. سپس مایع از کف ظاهری مخزن به بیرون کشیده می شود.

این عملیات یک مرحله به شمار می آید. تکرار این فرآیند می تواند تمام جسم حل شونده را توسط مایع، حل کرده و فرآوری نماید. فقط مقداری حل شونده باقی می ماند که آن نیز در محلولی که جامد خروجی را مرطوب ساخته است، حل شده است. این مقدار حل شونده را نیز می توان با پرکردن مخزن از حلال تازه و تکرار عملیات تا هر

زمانی که لازم باشد شستشو داد. روش دیگر، ورود پیوسته مایع به مخزن و خارج سازی پیوسته عصاره (همراه یا بدون جریان برگشتی بخشی از جریان کلی) می باشد. چنین عملیاتی برابر چند مرحله می تواند عمل کند.

از آنجایی که محلول حاصل غلیظ تر از حلال است، با نفوذ به پایین، آمیختگی ناشی از جابجایی، کاهش می یابد. گاهی از جریانهای عمودی به سوی بالا استفاده می شود، که به منظور جلوگیری از گرفتگی در بستر یا فیلتر کردن ذرات است ولی این عمل سبب ماندگی بیش از حد ذرات در جریان مایع بالارونده می شود. روش گسترش یافته دیگری نیز که کمتر به کار می رود، پاشیدن مایع بصورت پیوسته از بالا و چکاندن آن روی جامد، بدون غوطه ور شدن جامد در مایع است [۵].

۱-۸- برنسی عملیات خیس شویی مس سرچشمه

عملیات باطله برداری و برداشت سنگهای اکسیدی برای فرآوری سنگهای سولفیدی با عیار مناسب از سال ۱۳۵۳ آغاز شد و از دیماه ۱۳۶۰ فرآوری سنگهای سولفیدی شروع شد. به دلیل ناتوانی در استفاده از سنگهای اکسیدی در فرآیند پیرومتالورژی، لایه های اکسیدی فرآوری شده در دو منطقه خارج از معدن (توده شرقی و غربی) جمع آوری می شود.

۲۷ میلیون تن سنگ و خاک اکسیدی مس وجود دارد که چهارده میلیون تن آن در توده شرقی و ده میلیون تن دیگر در توده غربی و سه میلیون تن در داخل معدن است. لایه های سنگ اکسیدی در این توده ها شکننده می باشد. به بیان دیگر قابلیت نگهداری آب بر روی خود را ندارد. این موضوع، انحلال در محل توده ها را مشکل می سازد. به همین علت سنگهای اکسیدی به جای دیگری حمل شده و در شرایط ویژه ای، مورد انحلال قرار می گیرند.

روشهای انحلال مس در اسید سولفوریک عبارت است از:

الف) انحلال با همزن (Agitation Leaching): در این روش سنگ معدن اکسیدی (نرم شده) در اتاقک های مجهز به همزن، در آب و اسید حل می شود. پارامترهای مهم در این روش عبارتند از:

۱- نسبت حجمی مایع به جامد درون محفظه واکنش.

۲- زمان ماند مواد در اتاقک واکنش.

نسبت مایع به جامد ۴ تا ۵ برابر می باشد و زمان ماند در اتاقک چند ساعت است. سپس دوغاب بدست آمده به حوضچه های رسوب کننده منتقل می شود. سرریز قسمت رسوب کننده که بدون مواد جامد است، به واحد بازیابی مس هدایت می شود. و دست آخر دوغاب غلیظ شده به منظور بازیابی محلول همراه، صاف می شود.

ب) انحلال توده ای (Heap Leaching): در این روش سنگهای باقی مانده از عملیات آتشیاری معدن، به محل انباشت توده (Heap Pad) منتقل می شود و روی آن آب و اسید پاشیده می شود. سطح زیرین توده با یک لایه نفوذناپذیر (بیشتر از جنس پلی اتیلن) عایق بندی می شود تا از نفوذ آب و اسید و هرز رفتن محلول به زمین جلوگیری شود. گاهی روی لایه عایق پلی اتیلن، لوله های مشبکی از همین جنس قرار می دهند تا عصاره با آنها به خارج از محل توده منتقل شود.

با توجه به جنس سنگ معدن، زمان انحلال ۳۰ تا ۱۲۰ روز و نرخ پاشش ۵ تا ۲۵ لیتر بر ساعت در هر متر مربع می باشد. پس از پایان زمان انحلال، سنگ معدن تازه بر روی سنگهای پیشین ریخته می شود و بار دیگر زیر پاشش آب و اسید قرار می گیرد. در مورد برخی از گونه های سنگ معدن پس از پایان چرخه انحلال، سنگ معدن از محل توده به مکان دیگری منتقل شده و سنگ معدن تازه جایگزین می گردد.

شرکت Davy در سال ۱۳۷۰ بررسی سنگهای اکسیدی معدن مس سرچشمه را آغاز نمود. این شرکت، روش هیدرومتالورژی، شامل واحد انحلال، واحد فرآوری با حلال (SX) و واحد جدا سازی یونهای مس با جریان برق مستقیم (EW) را برگزید. در بررسیهای انجام شده توسط شرکت Davy برای انحلال، سه روش متداول بررسی شد، انحلال درجا، انحلال توده ای و انحلال با همزن. انحلال در محل توده ها به دلایل زیر مورد قبول قرار نگرفت:

- ۱- نفوذپذیری سطح زمین در محل توده سنگهای اکسیدی که جمع آوری محلول حاصل از انحلال را دشوار و نشدنی می نماید.
- ۲- وجود لایه کوبیده شده در سطح بالایی که نفوذپذیری محلول آب و اسید را بدرون توده مشکل می نماید.
- ۳- وجود جریانهای آبهای سطحی در اطراف توده ها، که موجب رقیق شدن محلول حاصل از انحلال می شود.

همچنین روش انحلال با همزن به دلایل زیر رد شده است:

- ۱- بازدهی انحلال کمتر از روش توده ای است.

۲- سرمایه گذاری بیشتری لازم است ($9000 \text{ m}^3/\text{day}$ در مقایسه با $1300 \text{ m}^3/\text{day}$).

۳- میزان مصرف آب زیاد می شود.

بنابراین انحلال توده ای (Heap Leach) مورد پذیرش قرار گرفت و بازدهی انحلال ۸۸ درصد ارزیابی شده است. در این روش سنگ معدن به واحد انحلال، منتقل می شود. برای تولید ۴۰ تن مس کاتدی در روز (۱۴ هزار تن در سال)، ۸۲۰۰ تن سنگ معدن به محل منتقل می شود.

محلول بدون مس که از واحد فرآوری با حلال (SX) بازگردانده شده، پس از افزودن اسید سولفوریک و آب توسط پمپ برای پاشیده شدن به سطح بالایی توده منتقل می شود. محلول در سطح توده توسط افشانک (Nozzel) پخش شده و پس از گذر از درون توده سنگ، در قسمت زیرین، جمع آوری و به حوضچه مربوطه منتقل می شود. اطلاعات مربوط به واحد انحلال عبارت است از:

الف) ساعت کار: ۲۴ ساعت در روز و هفت روز هفته.

ب) نرخ پاشش: $7/2$ لیتر در ساعت برای هر متر مربع سطح توده.

پ) دوره انحلال: ۶۰ روز.

ج) اسید مصرفی: ۳۰ تا ۴۰ کیلوگرم برای هر تن سنگ معدن.

ه) محلول حاصل از انحلال: ۵۸۸ متر مکعب در ساعت.

و) آنالیز محلول باردار مس (P.L.S.): $3/5$ گرم در لیتر، $0/44$ گرم اسید سولفوریک در لیتر محلول باردار، توسط خط لوله به واحد فرآوری با حلال منتقل می شود.

واحد فرآوری با حلال شامل دو همزن (Mixer) و دو ته نشین کننده (Settler)

در قسمت جذب (Extraction) و یک مخلوط کن و یک ته نشین کننده در واحد دفع

(Stripping) می باشد. در این واحد مس محلول توسط فاز آلی جذب شده و در

قسمت دفع به محلول اسید سولفوریک منتقل می شود. الکترولیت غنی از مس حاصل

از واحد فرآوری با حلال پس از گرم شدن و تبادل گرمایی با محلول الکترولیت آمیخته

می شود و به سلولهای الکترولیز وارد می شود. در هر گردش (Cycle)، ۵ گرم در لیتر

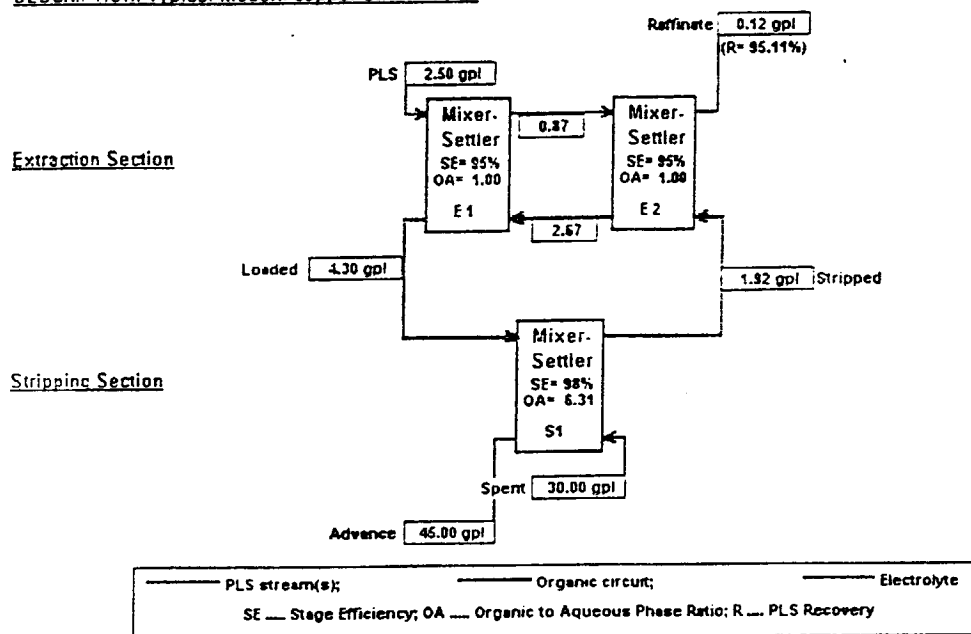
غلظت مس، کاهش می یابد.

سطح مؤثر کاتدها، ۲۰ متر مربع، چگالی جریان 300 Amp/m^2 و فاصله بین دو

کاتد ۹۵ میلی متر می باشد. ولتاژ هر سلول $2/5$ ولت و بازدهی جریان ۹۰ درصد است

[۲]. نمودار گردش مواد در شکل (۱-۱) مشخص شده است. شکل (۲-۱) نیز یک توده را برای فرآیند خیس شویی نشان می دهد.

DESCRIPTION: Typical modern copper SX flowsheet



شکل (۱-۱) - جریان نمای چرخش فازهای آبی و آلی در واحد SX [۲]



SX-EW HEAP LEACH PAD LOOKING EAST

شکل (۲-۱) - نمای شرقی محل یک توده برای فرآیند خیس شویی [۸]

فصل دوم

**آشنایی با استخراج کننده ها
و رقیق کننده ها**

۲-۱- استخراج کننده ها

امروزه در فرآیندهای تجاری فرآوری با حلال از گونه های متفاوت استخراج کننده ها برای دستیابی به عناصر موجود در طبیعت استفاده می شود. هدف از این فصل بررسی و مطالعه ویژگیهای استخراج کننده های متداول تجاری می باشد.

۲-۱-۱- ویژگیهای يك استخراج کننده

ویژگیهای کلی یک استخراج کننده مناسب که در فرآیند تجاری فرآوری با حلال استفاده می شود، عبارتند از:

- ۱- ارزان باشد.
 - ۲- حلالیت خیلی کمی در فاز آبی داشته باشد.
 - ۳- پایداری خوبی داشته باشد. یعنی اینکه بتواند، مدتها در یک حلال عمل فرآوری را انجام دهد، بدون اینکه فاسد شود.
 - ۴- در فاز آبی، در هنگام آمیزش، پراکندگی (Emulsion) ایجاد نکند.
 - ۵- زمانی که با یک رقیق کننده (Diluent) آمیخته می شود، ویژگی نخته سازی (Coalescing) مناسبی داشته باشد.
 - ۶- قابلیت بارگیری (Loading) فلزات سنگین را داشته باشد.
 - ۷- به راحتی از فلزات بارگیری شده جدا شود.
 - ۸- آتش زا، سمی، خورنده و فرار نباشد.
 - ۹- در رقیق کننده های آروماتیکی و آلیفاتیکی، میزان حلالیت بالایی داشته باشد.
 - ۱۰- واکنشهای مناسب برای فرآوری داشته باشد.
- بیشتر حلالهای امروزی این ویژگیها را دارند. بجز استخراج کننده هایی از نوع الکلیها و هگزانونها، بقیه استخراج کننده ها را کمتر در حالت غلیظ شده استفاده می کنند. این استخراج کننده ها با یک مایع آلی بی اثر مانند نفت سفید (Kerosene) رقیق می شوند.

۲-۱-۲- دسته بندی استخراج کننده ها

برای شناخت ویژگیهای متفاوت استخراج کننده های فلزات (در سیستمهای متفاوت آبی) بهتر است که آنها را در گروههایی دسته بندی کنیم:

- ۱- استخراج کننده هایی که ترکیباتی را در خود حل می کنند.
- ۲- استخراج کننده هایی که براساس تبادل یونی کار می کنند.

۳- استخراج کننده هایی که براساس حل یونهای فلزی کار می کنند.
استخراج کننده های تجاری که در حال حاضر رایج هستند، در جدول (۱-۲) آورده شده‌اند.

جدول (۱-۲) - استخراج کننده های متداول در فرآیند فرآوری با حلال [۸]

Some Common Extractants for Use in Hydrometallurgy					
CLASS	CHEMICAL NAME	TRADE NAME	STRUCTURE	MANUFACTURER	SOME COMMERCIAL USES
dic Extractants					
Phosphoric Acids	mono-2-ethylhexyl phosphoric acid	MZENPA		Mobil Hoechst	Co/Ni sep'n; Zn, Sn, Cu, In, Ga. Rare earths, V, etc. Synergistic with TOPO for U free H ₃ PO ₄
	di-2-ethylhexyl phosphoric acid	DENPA DZENPA ZENPA		Mobil	
		Hostarex PA 216 (NDE F2574)	-	Hoechst	
		DP-8K	-	Daiichi	
		P-204	-	Chinese	
	di-p-octylphenyl phosphoric acid	OPPA		Mobil	U free H ₃ PO ₄
Phosphonic Acids	2-Ethylhexyl phosphonic acid mono-2-ethylhexyl ester	PC-88A SNE 418 (RD 577) P-507		Daiichi Shell Chinese	Co/Ni sep'n, rare earths, Zn. Synergist when combined with TOPO or DENPA (for U) Th, RE's, U (HNO ₃) Zn, Fe (Cl) Ag, Cu, Ni, Pb, Ti, Zr HNO ₃ or HF extraction
Table 1 (cont'd)					
CLASS	CHEMICAL NAME	TRADE NAME	STRUCTURE	MANUFACTURER	SOME COMMERCIAL USES
acidic Extractants (cont'd)					
Phosphinic Acids	Di-2,4,4-trimethylpentyl phosphinic acid	Cyanex 272	$R_1 = R_2 = CH_3C(CH_3)_2CH_2CH(CH_3)CH_2-$	Cyanamid	Co/Ni (good rejection of Ca), rare earths, V.
	di-2-ethylhexylphosphinic acid	P-229	$R_1 = R_2 = CH_3(CH_2)_5CH_2CH_2-$	Chinese	
(d) Carboxylic Acids	alkyl monocarboxylic acids	Naphthoic acids		Shell Exxon	Cu, Co, Ni, Fe, Zn
		Versatic acids			
		10 911	(R ₁ , R ₂ = C ₆) (R ₁ , R ₂ = C ₈ -C ₉)	Shell	
(e) Sulphonic Acids	5,6-dinonylnaphthyl sulfonic acid	DNNSA		King Organic Chemicals	Co, Ni
2. Basic Extractants					
(a) Primary amines	1,1,3,3,5,5,7,7,9,9-decanomethyl decyl amine	Primona JMT		Kahn & Neale	Th, U, rare earths

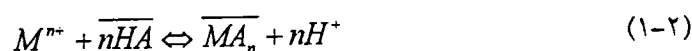
۲-۱-۲-۱- استخراج کننده هایی که ترکیباتی را در خود حل می کنند

این گروه از استخراج کننده ها می توانند به دو زیرگروه تقسیم شوند:
الف) استخراج کننده های اسیدی.

ب) استخراج کننده های اسیرکننده یا کی لیت کننده (Chelating).

پیش از این، دسته بندیها براساس گروههای عملگری مانند $(-\text{SO}_3\text{H})$ ، $(-\text{COOH})$ و $(\text{P}(\text{O})(\text{OH})_2)$ صورت می گرفت. گروه $(-\text{SO}_3\text{H})$ از نوع اسیرکننده فلزات است.

الف- استخراج کننده های اسیدی یا مبدلهای یونی مایع کاتیونی: این گروه، فلزات را توسط یک روش تبدیل کاتیونی فرآوری می کنند، که در آن هر هیدروژن استخراج کننده، عاملی برای تبدیل یونهای فلزی است. اساس فرآیند در معادله (۱-۲) نمایش داده شده است:



استخراج کننده های اسیدی همانند استخراج کننده های فلز، در عملیات تجاری مفید هستند. این استخراج کننده های آلی از اسیدهای فسفوری و اسیدهای مونوکرپوکسیلیک (Monocarboxylic) گرفته شده اند.

ب) استخراج کننده های اسیرکننده (Chelating): این گروه که شامل گروههای بخشنده (Donor) می باشد، توانایی تشکیل ترکیبات پیچیده دوشاخه ای (Bidentate) با یونهای فلزی را دارد. چنین موادی بطور گسترده ای در شیمی تجزیه و شیمی معدنی استفاده می شوند. اما با داشتن این توانمندیها برای استفاده در اندازه صنعتی گران است. گروهی از استخراج کننده های کی لیت کنند سبب گروه جانشین شونده در زیر آمده است:

گروه جانشین شونده "۲- هیدروکسی بنزوفن اکسیمها" که شرکتهای هنکل (Henkel)، آی. سی. آی. (ICI) و شل (Shell) به ترتیب محصولات بنام Lix، Acorga، SME به بازار داده اند.

گروه جانشین شونده "۸- هیدروکسی کوین لاین" که شرکتهای شرکس (Sherex) و هنکل به ترتیب محصولات Kelex و Lix 34 را تولید می کنند.

بیشتر این استخراج کننده ها ویژه استخراج مس از محلولهای اسیدی می باشند. به همان صورت که محلولهای آلکالین بکار می روند. به نظر می رسد عامل مهم گسترش کار برد ویژه استخراج کننده های کی لیت کننده در تولید مس، چرخه کامل این استخراج کننده ها برای استفاده در عملیات فرآوری می باشد. جدول (۲-۲) تاریخچه بکارگیری استخراج کننده ها را نشان می دهد.

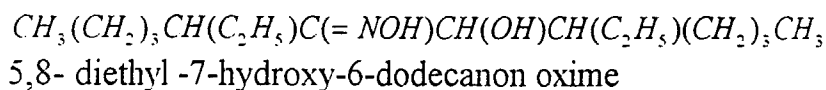
CHRONOLOGICAL ORDER OF AVAILABILITY OF
Chelating Extractants

Extractant	Date	Reference
LIX 63	1963	111
LIX 64	1965	112, 113
Kelex 100, 120	1968	114
LIX 64N	1969	115
LIX 65N	1969	116, 118
LIX 70	1971	117
LIX 71	1972	118
LIX 73	1972	118
SME 529	1974	119
ACORGA P1, P17, P50	1974	120, 121
ACORGA P5000	1975	122, 123
LIX 34	1976	124
LIX 54	1976	116
LIX 26	1978-79	116
Hostarex DK 16	1979	125
SME 530, 573	1978-79	119
LIX 622	1981	116
ACORGA DS 5443	1982	126
LIX 860	1982	116
LIX 864	1982	116
LIX 865	1982	116
ACORGA PT 5050	1983	127

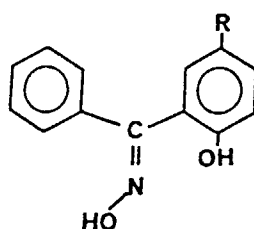
جدول (۲-۲) - تاریخچه بکارگیری استخراج کننده ها [۸]

الف) استخراج کننده های Lix

نخستین استخراج کننده های اسیر کننده تجاری برای استخراج مس، از محلول رقیق شده مس که از فرآیند فرآوری با حلال بدست آمده، بوسیله شرکت Henkel طراحی و ارزیابی شده است. ساختار Lix 63 بصورت زیر است.



به دنبال Lix 63 در سال ۱۹۶۵ Lix 64 با گروه جانشین شونده O-hydroxybenzophenone oxime با ساختار کلی زیر عرضه شد:



این ماده در تحقیقات نیمه صنعتی (Pilot - Plant) نتایج موفقیت آمیزی داشته است. Lix 64 قادر به فرآوری انتخابی کامل مس و مقادیر pH کم، در حدود ۱ است. پس از Lix 64 ماده دیگری با نام تجاری Lix 64N به بازار عرضه شد.

Lix 70 دارای یک گروه جانشین شونده O-hydroxybenzophenone oxime با یک اتم کلر، که جانشین گروه phenolic hydroxyl شده می باشد. که برای استفاده محلولهایی با قدرت اسیدی بالا طراحی شده بود.

بیشتر استخراج کننده ها برای دیگر خوراکهای مایع استفاده می شوند. از جمله آنها Lix 71 و Lix 73 می باشند. Lix 65N را می توان برای دماهای حدود ۴۰۰C بکار برد. واکنشهای شیمیایی Lix 65N از Lix 64N آهسته تر می باشد. Lix 64N مخلوطی از Lix 65N و حدود یک درصد حجمی Lix 63 است.

Lix 34 با یک گروه جانشین شونده (alkarylsulfonamido)-8 در سال ۱۹۷۶ ساخته شد. این استخراج کننده برای فرآوری فلز روی (Zn) نیز بکار می رود. Lix 54 برای فرآوری مس از محلولهای آلکالینی ساخته و فروخته شده است.

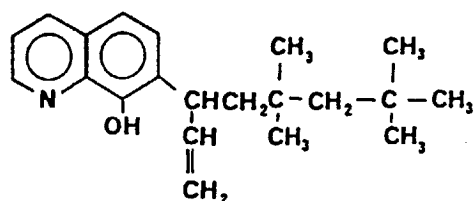
Lix 622 یک استخراج کننده قوی مس است که قدرت انتخابگری برتری برای جذب مس نسبت به آهن دارد. این استخراج کننده برای ساختار مواد مشخصی مانند نونیل فنیل بی ضرر است. در محیطهای آمونیاکی مقدار فلزی که توسط استخراج کننده Lix بارگیری می شود نسبت به محیطهای اسیدی بیشتر است.

در محیطهای آمونیاکی، مس، کبالت، نیکل و روی را می توان توسط استخراج کننده Lix فرآوری کرد و همه اینها (بجز کبالت III) را می توان توسط محلولهای اسیدی، بازیابی کرد.

ب) استخراج کننده های Kelex

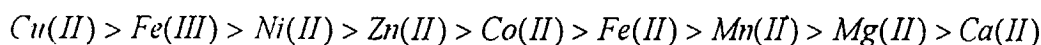
استخراج کننده های Kelex از سال ۱۹۶۸ به بازار عرضه شدند. سرعت کاربرد این استخراج کننده ها در عملیات صنعتی به سرعت کاربرد Lix افزایش نیافت. دو نوع استخراج کننده Kelex در صنایع وجود دارد: Kelex 100, Kelex 120. گروه جانشین شونده 8-hydroxyquinoline زمانی که بیشتر از ۲۰ درصد حجمی محلول Kelex 100 در p-nony phenol بکار رود، عامل فرآوری است.

امروزه از استخراج کننده های Kelex در عملیات صنعتی استفاده چندانی نمی شود. اما جالب است که Kelex 100 این توانایی را دارد تا بتواند در چندین فرآیند فرآوری با حلال مورد استفاده قرار گیرد. ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی آن نیز پیچیده است. Kelex 100 گروه جانشین شونده 8-hydroxyquinoline را در ۷ موقعیت توسط یک گروه dodecenyل در اختیار دارد.



7-[3-(5,5,7,7-tetramethyl-1-octenyl)]-8-hydroxyquinoline

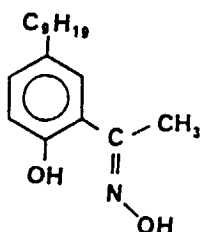
از سال ۱۹۷۳ گونه ای Kelex 100 خالص تر ساخته شد و تولید ماده شبه Kelex کاهش یافت. در نتیجه جدایش فازی به میزان چشمگیری بهبود یافت. اولویت گزینش فرآوری فلزات توسط Kelex 100 تابعی از pH می باشد، که در گستره pH بین صفر تا ۶، به صورت زیر است:



واکنشهای Kelex 100 برای فرآوری مس از واکنشهای Lix 64N سریعتر می باشد. بازیابی مس از ترکیبات Kelex سریعتر است. یکی از مشکلاتی که Kelex دچار آورده است، تولید نمکهای اسیدی است و این بعلت وجود مولکولهای نیتروژن می باشد.

ج) استخراج کننده Shell (SME 529)

این استخراج کننده دارای گروه جانشین شونده ۲- هیدروکسی -۵- نونیل استوفن اکسیم می باشد:



بیشترین مقدار مس بارگیری شده توسط یک حلال، شامل ۲۳ کیلوگرم بر متر مکعب از SME 529 خالص، در حدود ۲/۰۴ تا ۲/۳۶ کیلوگرم مس بر متر مکعب است. این افزایش ناشی از تبدیل رقیق کننده از آروماتیک (تولون) به آلیفاتیک (ایزواکتان) است. استخراج کننده SME 529، همانند بسیاری از استخراج کننده های کی لیت کننده برای فرآوری در شرایط آمونیاکی مفید می باشد.

pH برای بیشترین استخراج نیکل از ۸/۲ به ۷/۴ کاهش می یابد، همانگونه که غلظت سولفات آمونیوم افزایش می یابد. فرآوری نیکل زمانی که نترات در محیط وجود دارد، بیشتر از محیط سولفاتی است. اگر از یک رقیق کننده آروماتیک استفاده شود، فرآوری در مقایسه با یک رقیق کننده آلیفاتیکی (Shell MSB 210) کاهش می یابد.

د) استخراج کننده Acorga

Acorga Ltd. از جمله استخراج کننده های رایج در واحد SX می باشد که تحقیق، توسعه و ساخت آن توسط صنایع شیمیایی سلطنتی انگلیس (ICI) صورت گرفته است. در سال ۱۹۷۲، NCCM در زامبیا محصول P-1 پیشرفته ای را ارزشیابی کرد که ماده تشکیل دهنده همه استخراج کننده های Acorga-P-500 امروزی می باشد. این محصول که نامهای متفاوتی از جمله LA-1 و P-50 دارد، 5-nonyl salicyladoxime نامیده می شود. این محصول ترکیب بهتری نسبت به استخراج کننده های کتوکسیمی مانند Lix 64N دارد. اما ظرفیت انتقال آن کم است.

در سالهای اخیر پیشرفتی در تحقیقات فرآیند هیدرومتالورژی، برای بازیابی ترکیباتی از فلزات غیرفرار از کانی های سولفیدی، بوجود آمده است. فرآیند خیس شویی کلردی، اهمیت زیادی در این تحقیقات دارد. بازده بالا و گوناگونی فرایندها از جمله عوامل کاربرد این گونه خیس شویی می باشد.

۲-۱-۲- استخراج کننده هایی که براساس تبادل یونی کار می کنند

در فرآیند تجاری فرآوری با حلال، استخراج کننده های پایه و اصلی به آمینها و هالیدهای چهارتایی آمونیوم (quaternary ammonium halides) محدود می شوند. فرآیند به ترتیب با عوامل زیر می رود: نخست با RNH_2 سپس با R_2NH و سرانجام با R_3N آمینها و نمکهای چهارتایی آمونیوم $(R_4N)^+$ به نتیجه می رسد.

آمینهای زیان بخش، بیشتر بر توانایی یونهای فلزی (به شکل گونه های آنیونی در فاز آبی) که توسط آمینها فرآوری می شوند، مؤثرند.

برای نمونه، فرآوری اورانیوم از سولفات آن در واکنش (۲-۲) نشان داده شده است.



۲-۱-۲-۳- استخراج کننده هایی که براساس حل یونهای فلزی کار می کنند

دسته مهم دیگری از استخراج کننده ها براساس حل کردن مولکولهای معدنی خشی یا ترکیبات پیچیده الکترون دهنده، تقسیم می شوند. دو گروه اصلی از استخراج کننده ها در این قسمت قرار می گیرند:

استخراج کننده های آلی که شامل اتصالات اکسیژن به کربن می باشند. مانند اترها، استرها، الکلها، کتونها و آنهایی که شامل اتصالات اکسیژن یا گوگرد به فسفر می باشند. مانند آلکیل فسفاتها (Alkylphosphate). این گروه از استخراج کننده ها براساس گروههای تشکیل دهنده خود به سه گروه تقسیم می شوند:

الف) استخراج کننده هایی که شامل اتصالات اکسیژن- فسفر می باشند. استخراج کننده های این دسته که از اسید فسفریک گرفته شده اند، در جدول (۲-۳) نشان داده شده است.

ب) استخراج کننده هایی که شامل اتصالات کربن-اکسیژن می باشند. استخراج کننده های این گروه به ترتیب اهمیت اترها، کتونها، استرها و الکلها می باشند. همه آنها دارای گروههای الکترون دهنده هستند. اما الکلها خشی هستند و ویژگی هر دو گروه الکترون دهنده و الکترون گیرنده را نمایش می دهند.

General Structures of Esters of Organophosphorus Acids		
Structure	Ester	Example
$\begin{array}{c} \text{RO} \\ \text{RO} \diagdown \\ \text{P} = \text{O} \\ \text{RO} \diagup \end{array}$	trialkyl phosphate	tri-n-butyl phosphate (TBP)
$\begin{array}{c} \text{R} \\ \text{RO} \diagdown \\ \text{P} = \text{O} \\ \text{RO} \diagup \end{array}$	dialkyl alkylphosphonate	dibutyl butylphosphonate (DBBP)
$\begin{array}{c} \text{R} \\ \text{R} \diagdown \\ \text{P} = \text{O} \\ \text{RO} \diagup \end{array}$	alkyl dialkylphosphinate	
$\begin{array}{c} \text{R} \\ \text{R} \diagdown \\ \text{P} = \text{O} \\ \text{R} \diagup \end{array}$	trialkyl phosphine oxide	tri-n-octylphosphine oxide (TOPO)

جدول (۲-۳) - استخراج کننده هایی که شامل اتصالات اکسیژن-فسفر می باشند. [۸]

ج) استخراج کننده هایی که شامل اتصالات گوگرد-فسفر می باشند. استخراج کننده های این دسته شامل ترکیبات گوگرد هستند. اسیدهای استری، آلکیل تیوفسفونیک، آلکیل تیوفسفونیک از این جمله اند [۸].

۲-۲- رقیق کننده ها (Diluents)

چون استخراج کننده های مس (یا هر فلز دیگری) گران قیمت می باشند، استفاده از آنها بصورت خالص (بدون رقیق کردن)، اقتصادی نیست. بنابراین کارخانه هایی که از این استخراج کننده ها استفاده می کنند، آنها را پیش از استفاده با موادی رقیق می کنند. بیشتر کارخانه های فراوری مس با حلال که هم اکنون در حال انجام کار می باشند، از نفت سفید با درصد کمی از آروماتیکها (۲۹ درصد) به عنوان رقیق کننده حلالها استفاده می کنند. شاید ترکیب شیمیایی یک رقیق کننده بر روی ویژگیهای ماده استخراج کننده (ظرفیت جذب، حالت تعادل، پایداری، خاصیت گزینش و جدایش فازی) تأثیر گذارد. تغییر این ویژگیها به قدرت حلالیت رقیق کننده بستگی دارد که این قدرت به میزان آروماتیک موجود در آن وابسته است. افزایش میزان آروماتیکها در رقیق کننده، موارد زیر را باعث می شود:

- ۱- کاهش pH مؤثر در فرآیند.
- ۲- کاهش سرعت واکنش.
- ۳- کاهش ظرفیت جذب نهایی.
- ۴- کاهش ظرفیت در حال تعادل.
- ۵- سریعتر شدن جدایش فازها.
- ۶- کاهش بازده واحد جریان سازی.
- ۷- کاهش قدرت گزینش مس در مقابل آهن.
- ۸- افزایش حلالیت مس.
- ۹- افزایش پایداری ماده استخراج کننده.

این تغییرات تنها بصورت تمایل واکنش تلقی می شود و تمامی حلالها به همه این موارد حساس می باشند، اما حدود تأثیرات متفاوت است. در مجموع، افزایش آروماتیکها در رقیق کننده ها، تأثیر بسیار کمی در قدرت فرآوری دارد. استفاده از پرکلرواتیلن بعنوان رقیق کننده Lix 64N مورد مطالعه قرار گرفته است. برتری پرکلرواتیلن عبارت است از: جداشدن سریع فازها، تمایل کمتر به جذب آهن، انجام بهتر واکنش و آتش گیر نبودن از دیگر ویژگیهای آن است. این ماده در مقایسه با نفت سفید حلالیت بیشتری دارد و زودتر تبخیر می گردد. اما بعلت گران بودن، نیاز به سیستم بازیابی کاملی دارد [۸].

۲-۳- اصلاح کننده ها (Modifiers)

در فرآیند استخراج با حلال در صنعت، برخی مشکلات عملیاتی پدید می آید. از جمله این مشکلات تشکیل فاز سومی بین دو فاز آبی و آلی است. این فاز که بعلتهای متفاوتی بوجود می آید مانع از انتقال جرم بین دو فاز آبی و آلی می شود و بازده فرآیند را کاهش می دهد. برای جلوگیری از تشکیل این فاز مزاحم، از موادی بنام اصلاح کننده در سیستم استفاده می کنند.

همانند استخراج کننده ها و رقیق کننده ها، اصلاح کننده ها باید در فاز آلی حلالیت زیاد و در فاز آبی حلالیت کمی داشته باشند.

از جمله اصلاح کننده ها می توان به ۲- اتیلن هگزانول، ایزودکانول و پی-نونیل فنل اشاره کرد [۸].

فصل سوم

فرآیند فرآوری با حلال

(Solvent Extraction)

مقدمه

استخراج از مایعات که به آن *فرآوری با حلال* هم گفته می شود، فرآیندی است که در آن اجزای یک محلول مایع به وسیله تماس با یک مایع نامحلول دیگر جدا می شود [5]. این فرآیند به روش عملیات انتقال جرم صورت می گیرد. فرآیند انتقال جرم بیشتر زمانی اتفاق می افتد که مواد به شکل نامساوی بین دو فاز پراکنده شده باشند. فرآوری از مایع همان فرآیند انتقال جرم است که بین دو فاز مایع انجام می شود [9].

اگر موادی که بخشی از محلول اولیه هستند به مقدار نابرابر در دو فاز مایع پخش شوند، جداسازی نسبی حاصل می شود که این حالت را می توان با چند مجاور سازی، جذب گازی و یا تقطیر بهبود بخشید. نمونه ساده زیر هدف از این کار و برخی ویژگیهای آن را نمایان می سازد.

اگر محلولی از اسید استیک در آب با مایعی مانند اتیل استات آمیخته شده و به هم زده شود، مقداری اسید و مقدار خیلی کمی آب وارد فاز استر می شود. چون در حالت تعادل چگالی فاز آبی و استری متفاوت است، بعد از آنکه فرآیند همزدن متوقف شود، دو فاز از هم جدا می شوند و می توان به وسیله فرآیند سرریز کردن آن دو را از هم جدا نمود. در این حالت چون نسبت اسید به آب در لایه استری با محلول اولیه و محلول آبی باقیمانده متفاوت است، عمل جداسازی تا حدودی انجام شده است. این حالت مثالی از مجاور سازی مرحله ای است که می تواند به صورت مداوم یا ناپیوسته انجام شود. مایع آبی باقیمانده را می توان برای کاهش مقدار اسید، یا دوباره با استر مجاور ساخت و یا در یک سیستم چند مرحله ای با جریان ناهمسو، این کار را انجام داد.

در مواردی که سیستم مرحله ای کاربرد ندارد می توان از یک سیستم پیوسته با جریان ناهمسو استفاده کرد. استفاده از برگشتی (Reflux) مانند تقطیر باعث افزایش جداسازی نهایی می شود. در همه این فرآیندها محلولی که فرآوری از آن انجام می شود، خوراک و مایعی که خوراک با آن مجاور می شود، حلال نامیده می شود. محصولی که از حلال غنی است، *فرآوری شده* و مایع باقی مانده که حل شونده از آن جدا شده است، *پس ماند*، نامیده می شود. در فرآیندهای پیچیده تر ممکن است از دو حلال برای جداسازی اجزاء یک خوراک استفاده شود. برای نمونه آمیزه ای از اسید/رتن و پارا نیتروبنزواتیک را می توان با پخش آنها بین دو مایع نامحلول آب و کلروفرم، جدا کرد. بدین ترتیب کلروفرم ایزومر پارا را بهتر حل می کند و

آب ایزومر ارتو را بهتر حل می نماید. این عمل فرآوری دو حالتهی یا فرآوری جزئی نامیده می شود [۱۳،۵].

۳-۱-۱- موارد استفاده از فرآوری یا استخراج از مایع

استفاده از فرآیند فرآوری مایع در حالتهای زیر انجام می شود:
زمانی که کار فرآوری به روش مستقیم با فرآوردهای جداسازی دیگر قابل رقابت است. دیگر آنگاه که این عمل تنها روش جداسازی به نظر برسد.

۳-۱-۱-۱- در رقابت با دیگر عملیات انتقال جرم

در این حالت قیمت نسبی اهمیت پیدا می کند. تقطیر و تبخیر از روشهای جداسازی مستقیم هستند و محصول بدست آمده تا حدودی خالص است.
در فرآوری، محصول بشکل محلول جدیدی است که بیشتر با تقطیر یا تبخیر، خالص می شود. برای نمونه در تقطیر محلول رقیق اسید استیک، این اسید به سختی از آب جدا می شود. اما با استفاده از فرآیند فرآوری با یک حلال مناسب و سپس فرآیند تقطیر، به شکل نسبی جدا می شود.

در باره تقطیر حلالهای رقیق، برای جداسازی آب از آنها، فرآیند فرآوری، اقتصادی تر است. بویژه که حرارت تبخیر بیشتر حلالهای آلی، خیلی کمتر از آب است. در مواردی که برای جلوگیری از تجزیه حرارتی مواد به دمای کمتر نیاز داریم، فرآوری می تواند جایگزین خوبی برای تقطیر یا تبخیر باشد. برای نمونه می توان اسیدهای چربی که دارای زنجیر طولانی هستند را بوسیله فرآیند تقطیر در خلأ، از روغن گیاهی جدا نمود. اما روش اقتصادی تر این جداسازی، فرآوری با پروپان مایع می باشد. تانتالیم و نیوبیم را می توان با تبلور جزئی فلورید دوتایی آنها با پتاسیم به زحمت از هم جدا کرد. اما فرآوری محلولهای اسید فلوریدریک آنها با متیل ایزوبوتیل کتن بهتر انجام می پذیرد [۱۵،۱۴،۵].

۳-۱-۲- جایگزینی برای روشهای شیمیایی

فرآوردهای شیمیایی مواد را مصرف می کنند. در نتیجه مسئله دورریزی محصول جانبی مطرح می شود. در فرآوری مایع، واکنشی صورت نمی گیرد و محصول جانبی نیز بدست نمی آید. در نتیجه هزینه آن کمتر است. جداسازی فلزاتی مانند اورانیم- و انادیم، هافنیم- زیرکونیم، تنگستن- مولیبدن و مواد حاصل از شکافت (Fission) در فرآوردهای تولید انرژی اتمی، بوسیله فرآوری با حلال اقتصادی تر است. باتوجه به اینکه محاسبه قیمت بازیابی حلال

در محاسبات پایانی حتی برای خالص کردن فلزات کم قیمت نظیر مس و مواد معدنی مانند اسید فسفریک و اسید بوریک و مشابه آن به شکل اقتصادی تر، از روش فرآوری مایع استفاده می شود [۵].

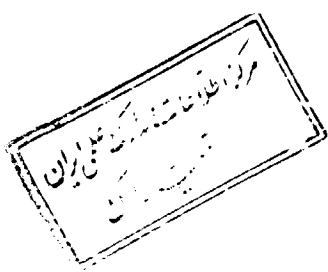
۳-۱-۳- در جداسازی هایی که با روشهای دیگر ممکن نیست

در فرآیند تقطیر در اثر حرارت، دو فاز مایع و بخار بوجود می آید که این دو فاز از مواد همانندی ساخته شده اند و در نتیجه از نظر شیمیایی مشابه هستند. بنابراین جداسازی در اثر تفاوت در فشار بخار مواد بدست آمده است. در فرآوری مایع، جزء اصلی دو فاز از نظر شیمیایی متفاوت است و این امر، فرآیند جداسازی به روش شیمیایی را شدنی می سازد. برای نمونه هیدروکربنهای آروماتیکی و پارافینی که دارای جرم ملکولی نزدیکی هستند را نمی توان بوسیله تقطیر جدا نمود. چون فشار بخار آنها خیلی به هم نزدیک است. اما می توان آنها را با فرآوری توسط حلالهایی مانند دی اکسید گوگرد مایع، دی اتیلن گلیکول یا سولفولان به راحتی از هم جدا کرد. (تقطیر استخراجی هم برای این حالات مناسب است اما این عمل، فرآوری فاز بخار با یک حلال است، در حالی که فرآوری مایع، فرآوری از فاز مایع است. بیشتر اوقات حلال مورد استفاده در دو حالت یکسان است.) برخی از محصولات دارویی مانند پنسیلین به شکل آمیزه های پیچیده ای بدست می آید که در این موارد فرآوری مایع اقتصادی ترین روش است [۱۷، ۱۶].

۳-۲- تعادل مایع

در انتقال جرم در درون یک فاز، نیروی راننده برای نفوذ، اختلاف غلظت است. در انتقال جرم بین دو فاز نیز وجود اختلاف غلظت در هر فاز عدم وجود حالت تعادل بین دو فاز است. چنانچه دو فاز به حالت تعادل با یکدیگر برسند، اختلاف غلظت در هر فاز از بین رفته، فرآیند انتقال جرم متوقف می گردد. پس در مسائل مربوط به انتقال جرم از یک فاز به فاز دیگر، علاوه بر شدت نفوذ، لازم است ویژگیهای تعادل بین دو فاز نیز بررسی شود.

برای نمونه می خواهیم تعادل موجود بین دو فاز آبی و آلی را در یک ته نشین شونده بررسی کنیم. زمانی که دو فاز آبی و آلی (دارای یونهای مس) با هم آمیخته می شوند، مقداری از یونهای مس موجود در فاز آبی به فاز آلی می رود (در مرحله استخراج) همچنین تعدادی از یونهای مس حل شده در فاز آلی دوباره به فاز آبی بر می گردد. هرچه یونهای مس بیشتری از فاز آبی به فاز آلی برود، غلظت مس در فاز آلی بیشتر شده، در نتیجه تعداد یونهایی از مس که



در جهت عکس به فاز آلی برمی گردد نیز بیشتر خواهد شد. این عمل تا جایی ادامه خواهد یافت که حالت تعادل بین دو فاز برقرار شود. یعنی آهنگ ورود یونها به فاز آبی برابر آهنگ خروج آنها از فاز آبی شود.

باید توجه داشت که تساوی پتانسیلهای شیمیایی یک جزء در دو فاز، عامل برپایی تعادل آن جزء بین دو فاز است نه تساوی غلظتها.

دو روش برای مطالعه تعادل فازي وجود دارد: قانون فازي یا قاعده فازي گیبس و قوانین پراکندگی.

۳-۲-۱- قانون فازي $F = N - \phi + 2$

F = درجه آزادی یا تعداد متغیرهای وابسته است. (که به فشار، دما و غلظت محدود می شود) و برای تعیین تعادل یک سیستم باید ثابت باشد.

N = تعداد اجزاء یا تعداد کمترین متغیرهای وابسته که بیانگر اجزاء اصلی تشکیل دهنده هر فاز می باشد.

Φ = تعداد فازها می باشد. یک فاز، قسمت همگنی از یک سیستم را شامل می شود که توسط سطوح فیزیکی مرزبندی شده و بدین وسیله از سایر نقاط سیستم جدا می شود.

۳-۲-۲- قوانین پراکندگی (توزیع)

این قوانین، که بیشتر تجربی هستند، سعی در تنظیم قوانین حاکم بر غلظت ترکیبات متفاوت در فازهای مختلف یک سیستم تعادلی را دارند [۲۰، ۱۹، ۱۸، ۹].

۳-۲-۳- سیستمهای سه جزئی

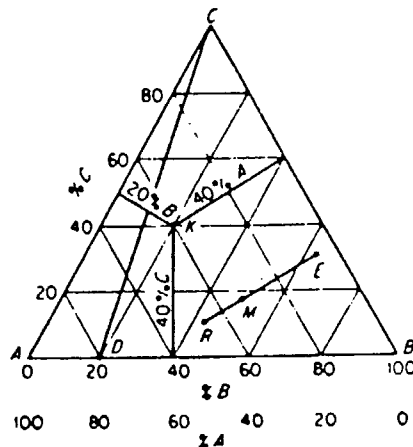
فرآوری شامل استفاده از سیستمهایی است که حداقل از سه جزء ساخته شده اند و اگرچه فازهای نامحلول از نظر شیمیایی خیلی تفاوت دارند، اما هر سه جزء دست کم به مقدار اندک در دو فاز وجود دارد [۵].

می دانیم در سیستمهای دوجزئی، تأثیر فشار بر روی تعادل مایع ناچیز است. در نتیجه از توجه به فاز بخار که برای ارائه اهداف بی اهمیت است، چشم پوشی می کنیم و مطالعه را فقط بر روی دما و غلظت متمرکز می سازیم [۹].

می خواهیم تغییرات غلظت سه جزء تشکیل دهنده را همزمان بررسی کنیم. برای رسیدن به این هدف از یک روش ترسیمی استفاده می کنیم.

۱-۳-۲-۳- مختصات مثلث متساوی الاضلاع

این مختصات بیشتر به صورت نمودار سیستمهای سه تایی و برای بیان غلظتها استفاده می‌شود. در مثلث متساوی الاضلاع جمع فاصله‌ها از هر نقطه داخل مثلث تا سه ضلع برابر با ارتفاع مثلث است. پس می‌توان ارتفاع مثلث را برابر کل غلظت قرار داد و فاصله از سه ضلع را ترکیب درصدهای سه جزء اختیار کرد. با توجه به شکل (۱-۳) مشاهده می‌شود که هر یک از سه رأس، نماینده یکی از مواد به صورت خالص است. فاصله عمودی از هر نقطه مانند K بر ضلع AB نشان‌دهنده درصد C در مخلوط K است. فاصله تا ضلع AC درصد B و فاصله تا ضلع CB درصد A موجود در مخلوط است. هر نقطه که روی اضلاع مثلث قرار داشته باشد، نشان دهنده یک مخلوط دوتایی است. نقطه D بطور نمونه یک مخلوط دوتایی شامل ۸۰ درصد A و ۲۰ درصد B است. تمام نقاط روی خط DC نشان دهنده مخلوطهایی با نسبت مشابه A و B هستند. می‌توان فرض کرد که مخلوط ابتدا در D بوده و C به آن اضافه شده است.



شکل (۱-۳) - مختصات مثلث متساوی الاضلاع [۹]

اگر مقدار R کیلوگرم از یک مخلوط در نقطه R به E کیلوگرم از مخلوط در E اضافه شود، مخلوط جدیدی در روی خط RE در نقطه M حاصل می‌شود به صورتی که:

$$\frac{R}{E} = \frac{ME}{RM} = \frac{X_E - X_M}{X_M - X_R} \quad (1-3)$$

غلظت در نقطه M را می‌توان با موازنه جرم محاسبه نمود، که در ادامه به آن می‌رسیم.

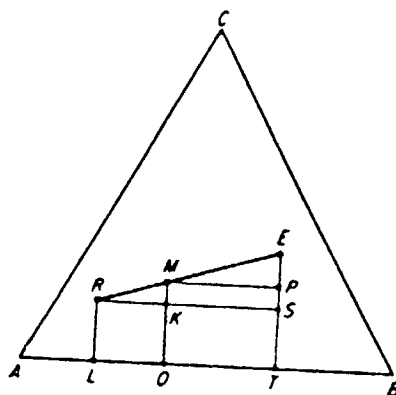
با روش مشابه اگر از مخلوط M، مخلوطی با ترکیب درصد E جدا شود، مخلوط جدید در روی خط EM و در جهت مخالف E است و با R نمایش داده می شود، به گونه ای که در معادله (۱-۳) صدق می کند. معادله (۱-۳) به راحتی قابل اثبات است. با مراجعه به شکل (۳-۲) مشاهده می شود که R کیلوگرم از مخلوط در نقطه R به E کیلوگرم از مخلوط در نقطه E افزوده شده است. M نشان دهنده مخلوط جدید است که در شکل نشان داده شده است. خط RL نشان دهنده جزء جرمی C در R یا X_R است، خط MO، جزء جرمی C در M یا X_M را نشان می دهد و خط ET، جزء جرمی C در E یا X_E را نشان می دهد. با نوشتن موازنه جرم کلی داریم:

$$R + E = M$$

$$R(RL) + E(ET) = M(MO) \quad \text{با نوشتن موازنه برای جزء C داریم:}$$

$$RX_R + EX_E = MX_M$$

$$R/E = \frac{ET - MO}{MO - RL} = \frac{X_E - X_M}{X_M - X_R} \quad \text{بعد از حذف M داریم:}$$



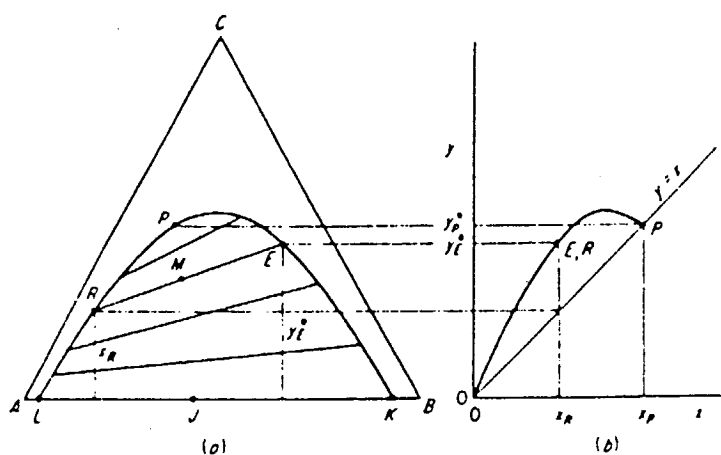
شکل (۳-۲) قانون آمیختن [۹]

با توجه به تشابه مثلثهای EMP و ERS رابطه (۳-۲) به دست می آید:

$$R/E = \frac{EP}{SP} = \frac{ME}{RM} \quad (۳-۲)$$

۳-۲-۱-۱-۳-۱- سیستمهای سه گانه مایع با حلالیت جزئی یک زوج (نوع اول)

این نوع سیستم یکی از اصلی ترین حالات سیستمهای فرآوری است. به عنوان نمونه می توان آب (A) - کلروفرم (B) - استن (C) را نام برد. از مختصات متساوی الاضلاع در حالت دما ثابت استفاده می شود. با مراجعه به شکل (۳-۳) مشاهده می شود که مایع C به طور کامل در A و B حل می شود، اما A و B به مقدار کمی در هم حل می شوند که سرانجام به نقاط محلول اشباع در نقطه L (غنی از A) و K (غنی از B) می رسند. هر چقدر A و B در هم نامحلول تر باشد، نقاط L و K به رئوس مثلث نزدیک تر می باشد. یک آمیزه دوجزئی مانند J که بین نقاط L و K قرار دارد به دو فاز مایع نامحلول با ترکیب درصد L و K تقسیم می شود، که مقدار نسبی آنها، بنا به معادله (۱-۳) به موضع نقطه J بستگی دارد.



شکل (۳-۳) - انحلال جزئی A و B [۹]

منحنی LRPEK یک منحنی حلالیت دوگانه ای است، که نشان دهنده تغییرات در حلالیت فازهای غنی از A و غنی از B بر اثر افزایش C است. هر آمیزه ای که در خارج این منحنی قرار داشته باشد، محلول یکنواختی است که یک فاز را تشکیل می دهد. هر آمیزه سه تایی، مانند M، که زیر منحنی قرار داشته باشد، به دو فاز مایع نامحلول اشباع با ترکیب درصد تعادلی R (غنی از A) و E (غنی از B) تبدیل می شود. خط اتصال بین این ترکیب درصدهای تعادلی، خط رابط (Tie line) نامیده می شود که باید از نقطه M که کل مخلوط را نشان می دهد، بگذرد. شمار نامحدودی خط رابط در ناحیه دوفازی وجود دارد که تنها تعدادی از آنها رسم شده است. بیشتر اوقات این خطوط موازی هم نیستند و ضریب زاویه آنها بتدریج در یک جهت تغییر می کند. در تعداد کمی از سیستمها که سیستمهای سولوتروپیک (Solutropic) نامیده می شوند، جهت تغییرات ضریب زاویه خطوط رابط تغییر می کند و یکی از خطوط رابط افقی می شود. نقطه P، که نقطه پلایت (Plait) نامیده می شود، آخرین

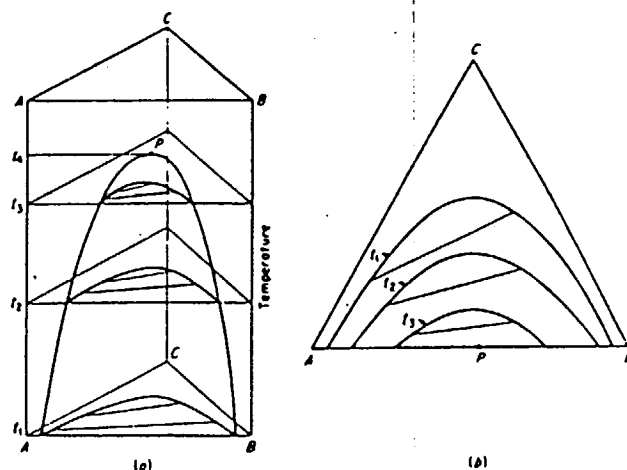
خط رابط راست ونقطه ایست که منحنی های حلالیت فازهای غنی از A و غنی از B به هم می رسند. این نقطه در منحنی حلالیت بندرت با بیشترین مقدار C یکی می شود. درصد C در محلول E بیشتر از مقدار آن در R است و گفته می شود که پخش شدن C در فاز غنی از B بهتر انجام می شود. این حالت در شکل (۳-۳ b) نمایش داده شده است، که در آن R و E بالای خط $y=x$ قرار دارند. کسر y^*/x (Distribution Coefficient) ضریب توزیع نامیده می شود (در این حالت بیش از یک است) که در آن x، جزء جرمی C در مایع با حلال کم (غنی از A) یا پس ماند است و y، جزء جرمی C در مایع غنی از حلال (غنی از B) یا استخراج شده می باشد. علامت ستاره نشان دهنده غلظتهای تعادلی است. وقتی غلظتهای C در انتهای خطوط رابط بر حسب هم رسم شوند، منحنی توزیع که در شکل (۳-۳ b) نمایش داده شده است را بوجود می آورند.

برای نمایش دادن جزئیات اثر دما، نیاز به یک شکل سه بعدی مانند شکل (۳-۴ a) داریم، که در آن دما به صورت قائم رسم شده و مثلتهای دما ثابت به صورت مقاطع منشور هستند.

در مورد بیشتر سیستمهایی که از این نوع هستند، حلالیت دوتایی A و B با افزایش دما زیاد می شود و در دمای بالای t_4 ، دمای بحرانی محلول، کاملاً در هم حل می شود. افزایش حلالیت در دماهای بالا، بر روی تعادل سه تایی مؤثر است و این مسئله در تصویر (۳-۴ b) بهتر نشان داده شده است.

فرآیند فرآوری مایع که متکی بر تشکیل فازهای نامحلول است، باید در دمایی کمتر از t_4 انجام شود.

بجز در فشارهای خیلی زیاد، اثر فشار روی تعادل مایع آنقدر کم است که بیشتر اوقات از آن چشم پوشی می شود. بنابراین تمام نمودارها باید در فشارهای بالا رسم شوند، تا سیستم بطور کامل فشرده شده باقی بماند. برای نمونه در سیستمی که دارای فشاری بیشتر از فشار بخار محلول است، اگر فشار کمتر از فشار بخار محلول شود، فاز بخار ظاهر می شود و تعادل مایع به هم می خورد [۲۳، ۲۲، ۲۱، ۵].

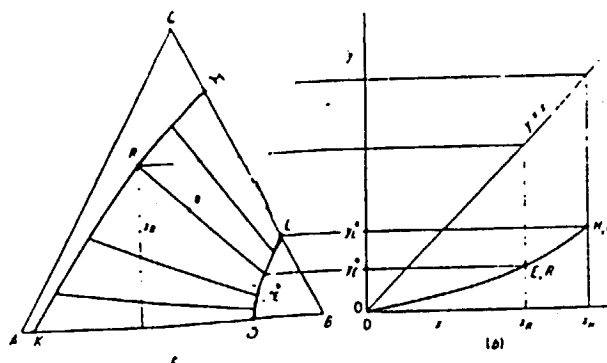


شکل (۳-۴) - اثر دما بر روی تعادل سه تایی [۹]

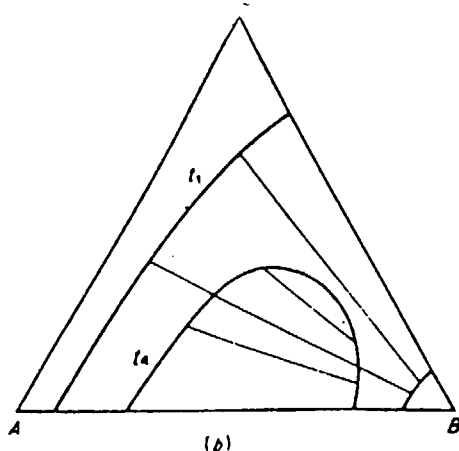
۳-۲-۱-۳-۲-۳ - سیستمهای سه گانه مایع با حلالیت جزئی دو زوج (نوع دوم)

از این نوع سیستمها می توان سیستمهای کلروبنزن (A) - آب (B) - متیل اتیل کتن (C) را نام برد که در آن A و C بطور کامل در هم محلول اند، در حالی که زوجهای A-B و B-C حلالیت محدود دارند. شکل (۳-۵a) نشان دهنده یک منحنی دما ثابت است. در دمای مشخص شده، نقاط J و K نشان دهنده حلالیت دوتایی A و B و نقاط H و L برای حلالیت در B و C هستند. منحنی KRH (غنی از A) و JEL (غنی از B) منحنیهای حلالیت سه جزئی و مخلوطهای خارج از دسته مشخص شده توسط این دو منحنی، محلولهای یک فاز همگن را تشکیل می دهند. آمیزه هایی مانند M درون ناحیه ناهمگن، دوفاز مایع در حال تعادل E و R را پدید می آورند که با خط رابط به هم متصل شده اند. منحنی توزیع در شکل (۳-۵b) رسم شده است.

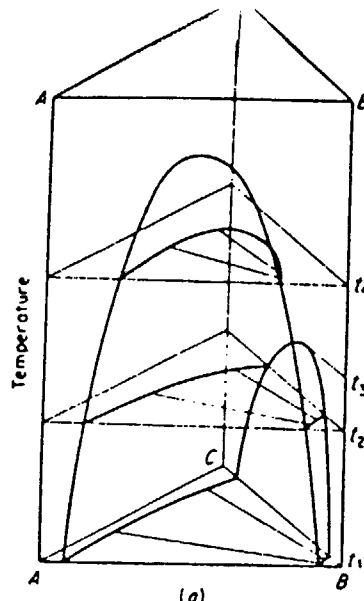
افزایش دما، بر میزان حلالیتهای دوتایی اثر فزاینده دارد و در اثر آن ضریب زاویه خطوط رابط نیز تغییر می کند. شکل (۳-۶) بیانگر نوعی اثر دما است.



شکل (۳-۵) - انحلال جزئی A-B و B-C [۹]

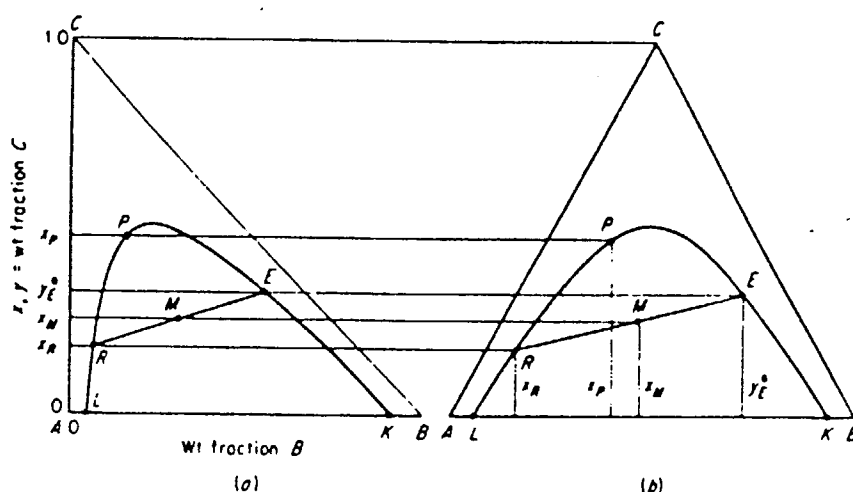


شکل (۳-۶) - اثر دما بر روی تعادل سه تایی [۹]



۳-۲-۳-۲ - مختصاتهای دیگر

روابط تعادلی را بندرت می توان با دقت لازم به صورت روابط جبری بیان کرد. بنابراین محاسبات فرآوری باید به صورت ترسیمی روی منحنی های فاز انجام شود.



شکل (۳-۷) - مختصات قائم [۹]

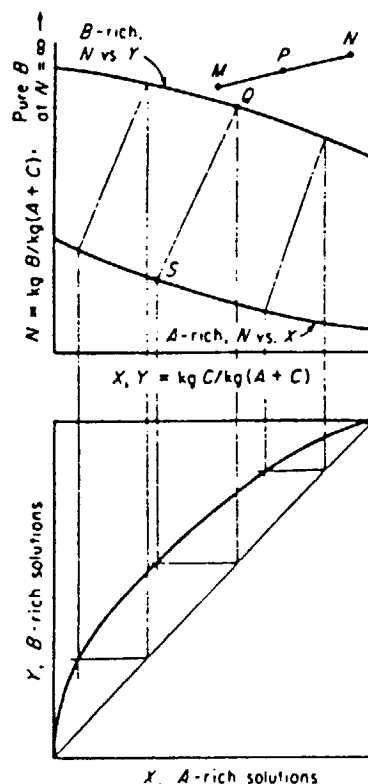
مقیاسهای مختصات مثلث متساوی الاضلاع به ناچار مشابه هستند. برای آنکه یک مقیاس غلظت را نسبت به دیگری افزایش دهیم، از مختصات قائم استفاده می کنیم. برای این کار می توان غلظتهای C را نسبت به غلظتهای B رسم نمود، همان گونه که در شکل (۳-۷) نشان داده شده است.

در این نوع مختصات می توان با افزایش یکی از مقیاسها نمودار را باندازه مورد نیاز گسترش داد. این نمودار برای سیستمهایی که دارای دو زوج با حلالیت جزئی هستند، رسم می شود. در فرآیند فرآوری بر اثر افزایش حلال، دو فاز حاصل می شود. در تقطیر، این دو فاز بر اثر گرما حاصل می شوند، پس می توان کار حلال را مشابه اثر گرما دانست.

همان گونه که در شکل (۸-۳)، که برای بدست آوردن نمودار توزیع بدون حلال رسم شده، نشان داده شده است، خطوط رابطی مانند QS را می توان روی مختصات Y-X تصویر نمود. قانون آمیختگی روی این مختصات به صورت زیر است:

$$\frac{M'}{N'} = \frac{Y_N - Y_P}{Y_P - Y_M} = \frac{X_N - X_P}{X_P - X_M} = \frac{NP}{PM} \quad (۳-۳)$$

که در آن M' و N' وزنهای بدون B در این آمیزه ها است [۲۴، ۵].

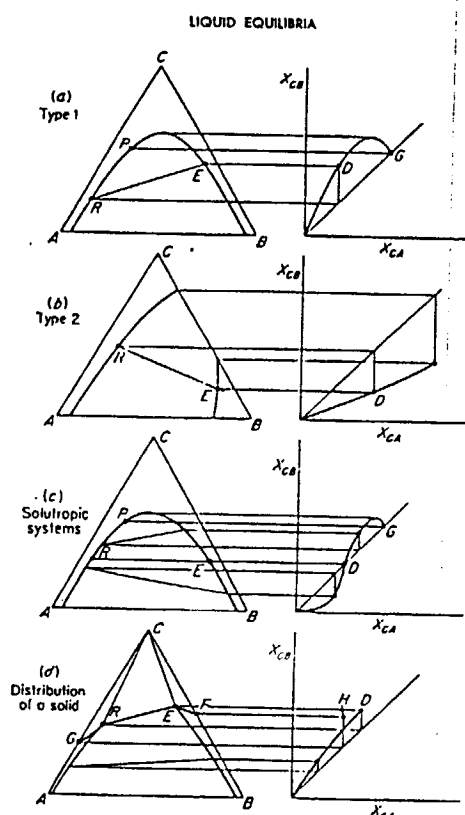


شکل (۸-۳) - مختصات قائم بر اساس بودن حلال [۹]

۳-۲-۴ - منحنی های پراکندگی (منحنی های تعادلی)

بررسی بیشتر داده ها در فرآیند فراآوری با حلال به صورت ترسیمی است. روشهای بسیاری برای رسم منحنی های تعادلی محلولهای در هم آمیخته شده وجود دارد، که از رسم غلظت جزء مورد نظر در فاز اول در برابر غلظت همان جزء در فاز دوم در زمان برقراری تعادل بین دو فاز، بدست می آید. برتری چنین نمودارهایی این است که باید برای تمامی

سیستمها خطی باشد. چون نه تنها برون یابی آنها راحت می شود، بلکه از دو خط رابط مشخص شده می توان برای پیش گویی ویژگیهای سایر خطوط رابط با اطمینان سخن گفت. ساده ترین منحنی های پراکندگی شامل رسم غلظت تعادلی C در فاز غنی از $(X_{CA})_A$ در برابر غلظتهای تعادلی C در فاز غنی از $(X_{CB})_B$ می باشد.



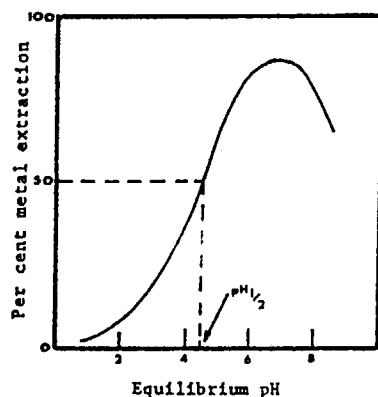
شکل (۹-۳) - منحنی های تعادلی [۱۰]

چند نمونه از این منحنی ها در شکل (۹-۳) نشان داده شده است. در قسمت (a) برای سیستم نوع اول، نقطه D بر روی منحنی پراکندگی با خط رابط RE مقایسه می شود و آن منحنی که شامل نقطه D است نماینده همه خطوط رابط است. منحنی از یک مقدار بیشینه گذشته و ناگزیر در نقطه G روی خط $y=x$ پایین می آید. این نقطه همان نقطه پلازیت است. نسبت $\frac{X_{CB}}{X_{CA}}$ در هر نقطه روی منحنی ضریب پراکندگی یا نسبت پراکندگی (m) نامیده می شود. که در این حالت که بررسی نقطه پلازیت است، با افزایش غلظت C، منحنی پایین می آید تا سرانجام به نقطه پلازیت برسد.

در قسمت (b) شکل (۹-۳)، منحنی پراکندگی برای سیستم نوع دوم دیده می شود. به نظر می رسد که این منحنی در نقطه ای متوقف شده است که بیانگر حلالیت دو طرفه در محلول دوجزبی BC می باشد.

در سیستمهای سولوتروپیک در قسمت (c)، منحنی پراکندگی از $y=x$ می گذرد. نقطه برخورد منحنی با این خط، از تصویر کردن خط رابط افقی RE بر روی خط $y=x$ بدست می آید.

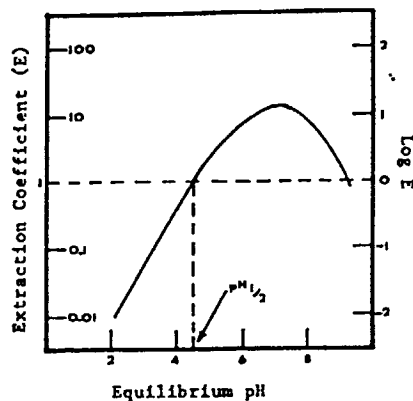
قسمت (d) شکل (۹-۳)، نمونه ای از پراکندگی حل شونده های جامد در محلول است. نسبت پراکندگی در نقطه D و در نتیجه در تمام غلظتها با نسبت حلالیت های جزء C در فازهای خالص A و B تا حدودی برابر است که بوسیله نقاط H, G, F نشان داده شده است. این مطلب زمانی به واقعیت نزدیکتر است که قابلیت امتزاج ناپذیری A و B بیشتر باشد. ساده ترین حالت قانون پراکندگی زمانی روی می دهد که نسبت پراکندگی $m_c = \frac{X_{CB}}{X_{CA}}$ در دمای داده شده با توجه به غلظت C در سیستم، ثابت باشد [۹].



شکل (۱۰-۳) - تاثیر pH بر فراوری فلزات [۱۰]

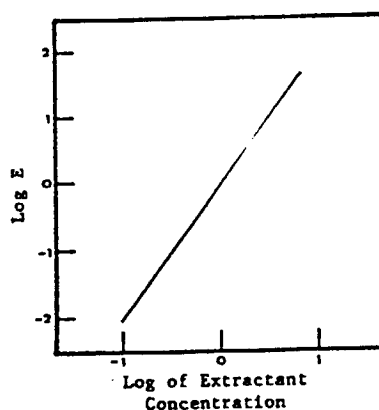
درصد فراوری فلزات تابعی از pH تعادلی می باشد. همانگونه که در شکل (۱۰-۳) نشان داده شده است. این شکل بر مقادیر pH مورد استفاده تأکید دارد و براستی آنها رایج ترین روش نمایش داده های فراوری با حلال می باشند. مقادیر اولیه pH در فاز آبی بگونه محسوسی در زمان فراوری می تواند تغییر کند، بویژه هنگامی که استخراج کننده های لیٹ کننده مورد استفاده قرار می گیرد و یا زمانی که فلز با غلظتهای بالا در فاز حلال بوجود می آید. معمول ترین روش بدست آوردن داده ها، نمایش ترسیمی $\log E$ در برابر pH تعادلی ($pH_{1/2}$) است. (E ضریب استخراج است) شکل (۱۱-۳). در این گونه نمودار، قسمت مستقیم منحنی، تعداد یونهای هیدروژن را می دهد، این زمانی است که از استخراج کننده های کی لیٹ کننده استفاده شود. تغییر شیب منحنی در این حالت و همچنین حالت نشان داده شده

در شکل (۳-۱۰) در نتیجه تشکیل ساختار پیچیده ای از فلز در فاز آبی، مانند هیدرولیز، می باشد.



شکل (۳-۱۱) - تاثیر pH بر ضریب استخراج [۱۰]

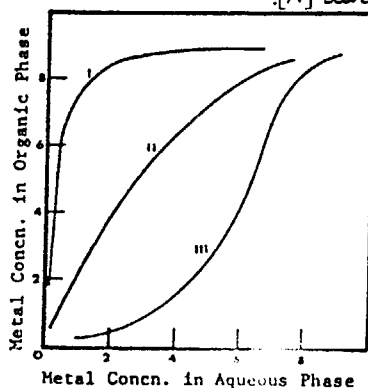
از این دو نمونه، مقادیر $pH_{1/2}$ برای یک سیستم جزئی با اندازه گیری می تواند بدست آید. تغییرات $\log E$ تابعی از غلظت استخراج کننده است، شکل (۳-۱۲). شیب خط با شمار مولکولهای استخراج کننده، شرکت کننده با یک اتم فلز، در گونه فرآوری شده برابر است. نمایش ترسیمی تغییرات غلظت فلز در فاز آلی در مقابل تغییرات غلظت فلز در فاز آبی به منحنی های دما ثابت فرآوری بر می گردد. گونه های متفاوت منحنی های دما ثابتی که ممکن است با آن روبرو شد، در شکل (۳-۱۳) نشان داده شده است. بیشتر اوقات شکل تعیین شده منحنی ها در حالت II طبیعی است.



شکل (۳-۱۲) - تاثیر ضریب استخراج بر غلظت استخراج کننده [۱۰]

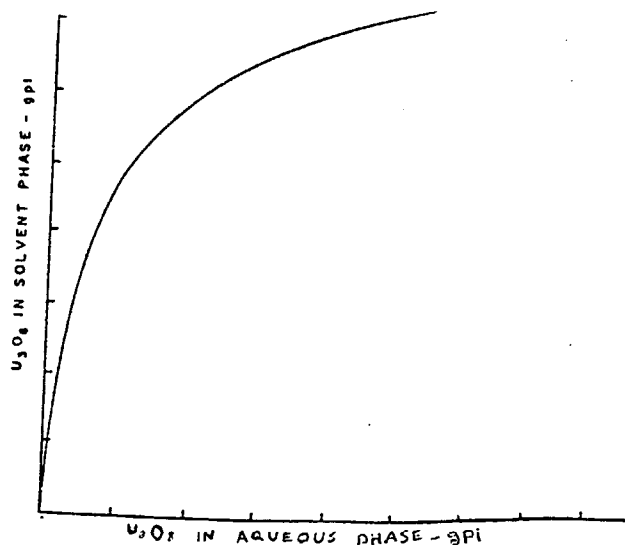
منحنی I بیانگر نمونه منحنی دما ثابت بدست آمده در حالتی است که ضریب فرآوری بالایی در سیستم روی می دهد. منحنی III که "منحنی دما ثابت دو خمه (S مانند)" نامیده می شود، یک حالت نادر است و برای نمونه در فرآوری وانادیم و مولیبدن بوسیله آمینها، با آن برخورد میشود.

هر سه منحنی به یک مقدار حدی می رسند، که این مقدار بیشترین ظرفیت بارگیری حلال (با شرایط استفاده شده) در تشخیص منحنی می باشد. ظرفیت بارگیری (Loading) حلال با تغییر شرایط تجربی، مانند ضریب فرآوری، می تواند یک نتیجه متفاوت بدهد. روش ترسیمی نمایش داده ها برای نشان دادن تأثیر اسید، نمک یا غلظت آنیون در ضریب فرآوری بکار می رود. میزان بارگیری حلال تابعی از شمار مراحل فرآوری و ضرایب جداسازی فلز (که خود تابعی از pH تعادلی است) می باشد [۸].



شکل (۳-۱۳) - منحنی های دما ثابت [۱۰]

شکل (۳-۱۴) نمای عمومی یک منحنی تعادلی را برای بیشتر فلزات قابل فرآوری به روش هیدرومتالورژی، نشان می دهد. چون تمام اندازه گیری ها در دمای ثابت انجام می شود، این گونه پراکندگی را "پراکندگی همدم" می نامند [۱۰].



شکل (۳-۱۴) - نمای عمومی یک منحنی دما ثابت [۱۱]

بگونه معمول، در نمونه های مهم فراآوری به روش هیدرومتالورژی، منحنی پراکندگی از مرکز نمودار بصورت یک منحنی توسعه یافته، بالا می آید. با افزایش انتقال جرم بین دو فاز، پراکندگی کمتر می شود تا شیب مماس بر منحنی از حالت عمودی در ابتدا به حالت افقی در پایان فرآیند برسد. این بخش افقی، ظرفیت بارگیری نهایی حلال را نشان می دهد. در این حالت پتانسیل شیمیایی جزء استخراج شونده درون دو فاز برابر شده و سیستم به تعادل می رسد. شیب مماس بر منحنی در هر نقطه روی آن، مقدار عددی ضریب پراکندگی را می دهد. منحنی های پراکندگی در برخی از گونه های فراآوری با حلال به صورت خطوط مستقیم گسترش می یابد. این مسئله بیشتر در سیستمهایی اتفاق می افتد که فرآیند حلالیت بین حلال و فلز استخراج شونده، بیشتر شبیه یک واکنش شیمیایی یا فیزیکی باشد.

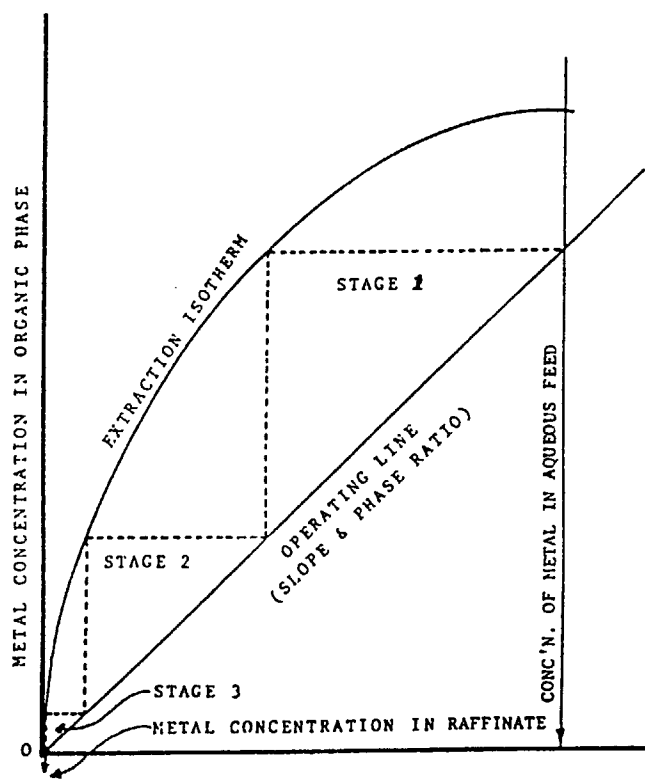
برخی از منحنی های پراکندگی به شکل S یا دیگر اشکال معمولی می باشند که در این صورت فرآیند فراآوری غلظت نهایی فلز قابل حل در فاز آبی، با استفاده از برخی روشهای پیچیده محاسبه می شود.

شبیه چنین منحنی هایی که در فرآیند فراآوری بررسی شد، برای فرآیند عریان سازی (انتقال فلز از فاز آلی به فاز آبی) می توان تعیین نمود. توجه به این نکته مهم است که در حالتی که غلظت اسید بر ضریب پراکندگی تأثیر مقداری دارد، منحنی پراکندگی باید با شرایط اسیدیته ثابت تعیین شود. اگر در مدت فراآوری، اسید از فاز آلی به فاز آبی منتقل شود، همانند شرایط استخراج مس با 64 Lix، اسیدیته در فاز آبی افزایش یافته که این عمل مانع فراآوری بیشتر می شود، مگر اینکه این اسیدیته خنثی شود. در چنین حالتی یک خانواده از منحنی های پراکندگی برای هر منحنی دما ثابت پدید می آید [۱۰].

۳-۲-۵- نمودارهای مک کیب-تیل (McCabe-Thiele)

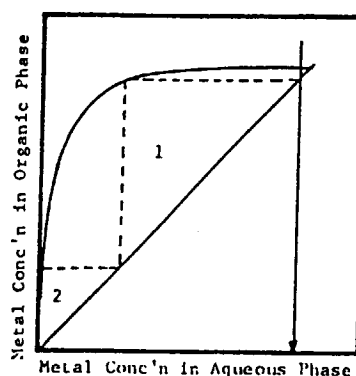
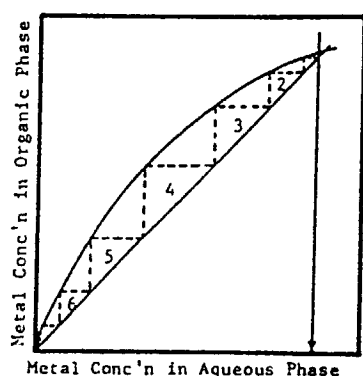
پیش بینی تعداد مراحل مورد نیاز برای یک سیستم فرآوری فلز را با استفاده از نمودار مک کیب-تیل می توان انجام داد، مانند شکل (۳-۱۵). برای رسم این نمودار، نخست منحنی های دما ثابت تعادلی فرآوری رسم شده، سپس غلظت فلز در محلول خوراک عمود بر محور X ها رسم می شود. خط تبادل که نمایش ترسیمی از بیلان جرم سیستم است، با شیب نسبت دبی فاز آبی به دبی فاز آلی رسم می شود. سرانجام خطوط نمایانگر مراحل تئوری فرآوری رسم می شود. که هر مرحله از محل برخورد خط عمودی غلظت فلز در فاز آبی با خط تبادل شروع شده و تا خط عمودی بعدی ادامه می یابد. این نمودار موقعیتهایی را در هر مرحله فرآوری نشان می دهد که از آن جمله می توان به غلظت فلز در خوراک، غلظت فلز در حلال (فاز آلی) و بازده هر مرحله اشاره نمود.

با توجه به شکل منحنی های دما ثابت فرآوری، نمودارهای متفاوتی نتیجه می شود، همانند شکل های (۳-۱۶) و (۳-۱۷). شکل (۳-۱۶) حالتی را که ضریب فرآوری حلال زیاد است بررسی می کند. در این شکل حداقل تعداد مراحل تئوری فرآوری دو مرحله نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۵)- نمودار مک کیب-تیل برای استخراج فلز [۹]

یک منحنی دما ثابت با داشتن کمی انحناء می تواند جزئی از یک نمودار مک کیب-تیل باشد، که در شکل (۳-۱۷)، هفت مرحله تئوری را شامل شده است.



شکل (۳-۱۶) - ضریب فرآوری حلال زیاد است [۹] شکل (۳-۱۷) - ضریب فرآوری حلال کم است [۹]

گوناگونی شیب خط تبادل، می تواند بخاطر تغییر نسبت دبی فاز آلی به فاز آبی باشد. برای نمونه در یک سیستم فرآوری که توسط نمودار مک کیب-تیل در شکل (۳-۱۵) بیان شده است، شیب خط تبادل برای سه مرحله فرآوری عدد یک در نظر گرفته شده است. این بدان معنی است که شدت جریان فاز آبی با شدت جریان فاز آلی در سیستم برابر است.

با فرض اینکه دبی فاز آبی ثابت بماند، افزایش شیب خط تبادل، بیانگر کاهش دبی فاز آلی برای دستیابی به همان شرایط فرآوری موجود در شکل (۳-۱۵) می باشد. بنابراین با کاهش مقدار یا ظرفیت حلال، تعداد مراحل مورد نیاز زیاد می شود. از طرف دیگر کاهش شیب خط تبادل بیانگر کاهش تعداد مراحل مورد نیاز یا افزایش ظرفیت حلال است.

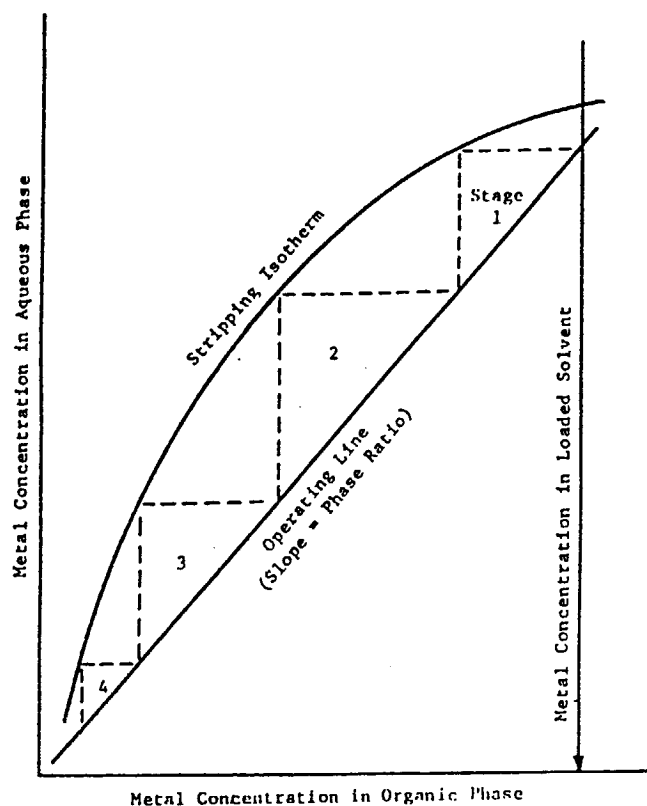
بنابراین بهینه سازی شرایط خط تبادل می تواند با ایجاد تغییر در نسبتهای جرمی یا حجمی فازها، تعداد مراحل، ظرفیت حلال و اطمینان از شرایط اقتصادی فرآیند انجام گیرد.

نمودار مک کیب-تیل می تواند برای تعریف تعداد مراحل تئوری مورد نیاز جهت بازیابی یک فلز از حلال مورد نظر نیز بکار رود. شکل (۳-۱۸) نمونه مناسبی برای این مطالب می باشد. این نمودار درست مانند نمودار فرآوری در شکل (۳-۱۵) می باشد. تنها تفاوت

نمودار عریان سازی با نمودار فرآوری، جابجایی محور فاز آبی و فاز آلی در نمودار عریان سازی می باشد [۲۶،۲۵۸].

۳-۳- موازنه مواد در عملیات انتقال جرم

اختلاف غلظت بین دو فاز مایع که نیروی راننده جرم بین دو فاز را تشکیل می دهد در تمام نقاط دستگاهی که تماس دو فاز را برقرار می سازد، ثابت نمی باشد. در یک فرآیند پایا، انتقال پیوسته جرم بین دو فاز غلظتهای توده دو فاز را در مسیر حرکتشان تغییر می دهد. در فرآیندهای پایا، مانند عملیات ناپیوسته، غلظتهای توده در دو فاز با گذشت زمان تغییر می یابد. در نتیجه این تغییرات نیروی راننده با شدت انتقال جرم نیز از نقطه ای به نقطه دیگر درون دستگاه متغیر می باشد. دنبال کردن این تغییرات با نوشتن روابط موازنه مواد به آسانی امکان پذیر است [۴].

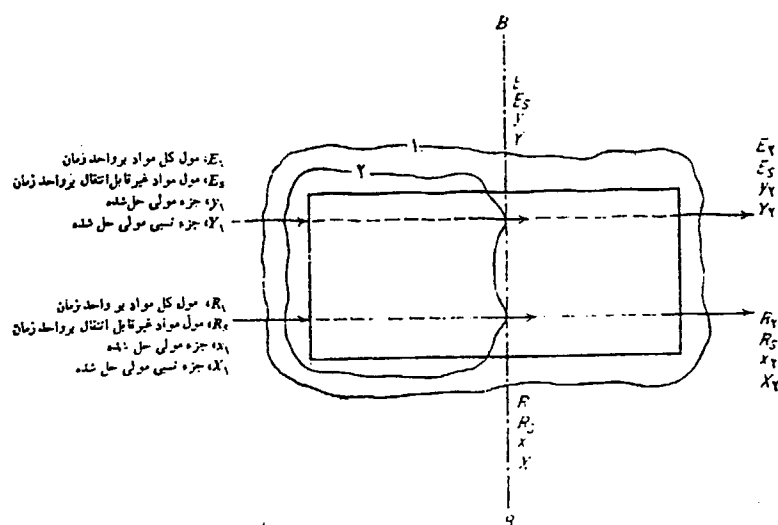


شکل (۳-۱۸) - نمودار مک کیب-تیل برای بازیابی فلز از یک حلال باردار [۹]

۳-۳-۱ - فرآیندهای جریان هم سو در حالت پایا

فرض کنیم که مربع مستطیل شکل (۳-۱۹) نشان دهنده دستگاهی باشد که در آن یک عمل انتقال جرم در حالت پایا بین دو فاز مختلف با جریان همسو صورت می گیرد. این دو فاز مخلوط نشدنی را فاز R و فاز E می نامیم. فرض می کنیم که در اثر تماس دو فاز با هم تنها جزء A از فاز R به فاز E منتقل می گردد و سایر اجزای موجود در هر فاز توانایی نفوذ در فاز دیگر را ندارد. آهنگ جریان فاز R در هنگام ورود به دستگاه برابر R_1 مول بر زمان واحد فرض می شود. از این مقدار R_s مول بر زمان واحد شامل اجزایی است که انتقال نمی یابد ($R_s = R(1 - x_A)$). جزء مولی جزء A در فاز R هنگام ورود به دستگاه x_1 است. با گذر از درون دستگاه و تماس با فاز E، جزء A از فاز R به فاز E منتقل شده موجب می گردد که در انتهای دستگاه مقدار فاز R به R_2 مول بر زمان واحد و جزء مولی جزء A در آن به x_2

کاهش یابد. بدیهی است که شدت جریان اجزای غیر A در این فاز، به علت انتقال نیافتن آنها، به میزان R_s مول بر زمان واحد ثابت باقی می ماند. به همین ترتیب شدت جریان فاز E در نقطه ورود به دستگاه E_1 مول بر زمان واحد است که از این مقدار E_s مول بر زمان واحد مربوط به شدت جریان اجزائی است که انتقال نمی یابند. جزء مولی جزء A در این فاز هنگام ورود به دستگاه y_1 است. به خاطر افزایش تدریجی مقدار جزء A در فاز E در طول دستگاه، شدت جریان این فاز هنگام خروج به E_2 و جزء مولی جزء A در آن به y_2 افزایش می یابد. در حالی که شدت جریان اجزای غیر A در آن برابر با E_s ثابت باقی می ماند.



شکل (۳-۱۹) - دستگاه انتقال جرم در حالت پایا و جریان همسو [۵]

تغییرات غلظت جزء A بین سر و ته دستگاه را می توان با نوشتن موازنه ماده به دور پوش شماره ۱ دنبال نمود. مقدار جزء A که همراه با فازهای R و E وارد دستگاه می شود به ترتیب برابر R_1x_1 و E_1y_1 می باشد. همچنین مقدار این جزء در دو فاز یادشده هنگام خروج از دستگاه می شود به ترتیب R_2x_2 و E_2y_2 است. بنابراین از موازنه ماده برای جزء A نتیجه می شود که:

$$R_1x_1 + E_1y_1 = R_2x_2 + E_2y_2 \quad (۴-۳)$$

$$R_1x_1 - R_2x_2 = E_2y_2 - E_1y_1 \quad (۵-۳)$$

با توجه به رابطه R_s و R_1 داریم:

$$R_1x_1 = R_s \frac{x_1}{1 - x_1} = R_s X_1 \quad (۶-۳)$$

که در آن X_1 غلظت نسبی مولی جزء A هنگام ورود به دستگاه و برابر با نسبت مقدار مولی جزء A به مقدار مولی سایر اجزاء (غیر A) می باشد. به همین ترتیب می توان دیگر جملات معادله (۲-۳) را بر حسب چنین غلظتی نوشت که در آن صورت:

$$R_S(X_1 - X_2) = E_S(Y_2 - Y_1) \quad (۷-۳)$$

ملاحظه می شود که چنانچه این معادله در مختصات X-Y رسم شود به صورت خط راستی با شیب $(-R_S/E_S)$ در خواهد آمد که از نقاط (X_1, Y_1) و (X_2, Y_2) می گذرد.

اگر در سطح مقطع دلخواه BB درون دستگاه شکل (۳-۱۹) اجزاء مولی جزء A در دو فاز R و E بترتیب برابر X و Y غلظتهای نسبی مولی آن بترتیب X و Y باشد، باز می توان با نوشتن موازنه ماده به دورپوش شماره ۲ رابطه زیر را بین این مقادیر به دست آورد:

$$R_S(X_1 - X) = E_S(Y - Y_1) \quad (۸-۳)$$

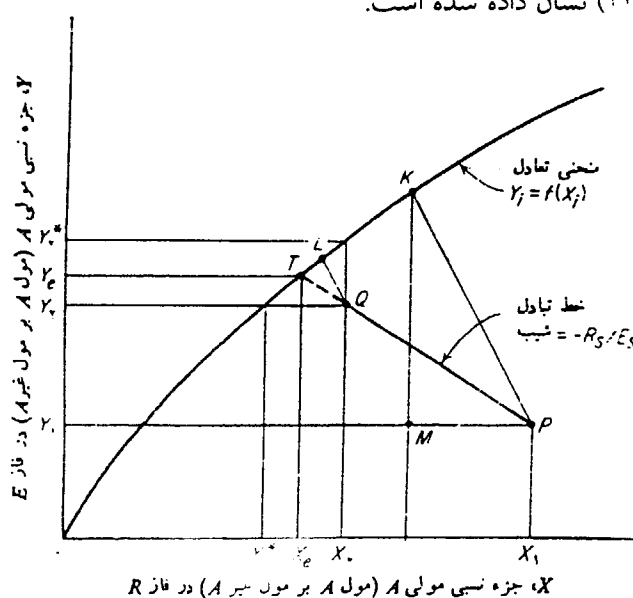
دوباره ملاحظه می شود که معادله مزبور در مختصات Y و X به خط راستی تبدیل می گردد که با شیب $(-R_S/E_S)$ از نقطه (X_1, Y_1) رسم شود. از آنجایی که دو خط راست بالا هر دو با شیب برابر از نقطه مشترک (X_1, Y_1) می گذرند، می توان نتیجه گرفت که دو معادله یادشده در حقیقت معادله یک خط می باشد و معادله (۸-۳) یک رابطه کلی برای تغییر غلظتهای دو فاز در نقاط مختلف دستگاه است.

از آنجا که X و Y معرف غلظتهای دو فاز می باشد، می توان منحنی تعادل را نیز در چنین مختصاتی رسم نمود. چنین منحنی تعادلی در شکل (۳-۲۰) همراه با خط QP که معرف معادلات (۷-۳) و (۸-۳) است، نشان داده شده است.

خط QP را که خط تبادل نامیده می شود نباید با خطوطی که نشان دهنده تغییرات نیروی راننده برای انتقال جرم می باشد، اشتباه کرد.

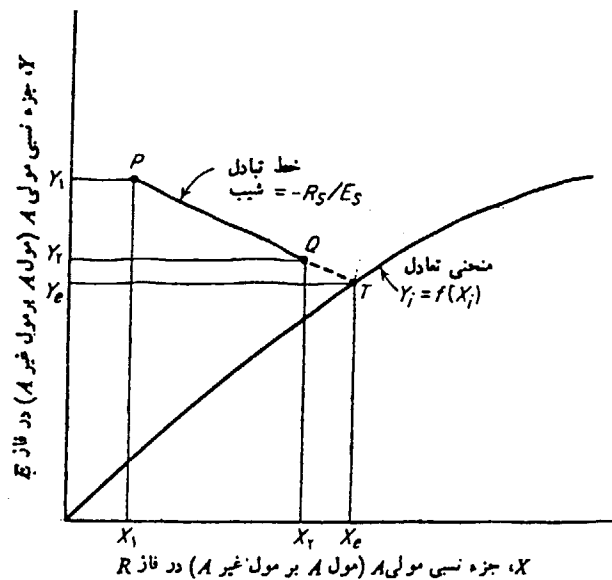
چنانچه نقطه P مشخص کننده غلظت دو فاز در ابتدای دستگاه باشد، در این نقطه به کمک ضرایب فردی انتقال جرم در هر فاز می توان خط KP را به عنوان خطی که طول آن معیاری برای نیروی راننده انتقال جرم است، رسم نمود. در چنین شرایطی مختصات نقطه K مشخص کننده غلظتهای فصل مشترک دو فاز در ابتدای دستگاه می باشد. در این صورت، خطوط KM و MP را می توان به عنوان فواصلی که بترتیب مشخص کننده نیروی رانش در فازهای E و R هستند به شمار آورد. به همین ترتیب، اگر نقطه Q مربوط به غلظتهای توده در انتهای دستگاه انتقال جرم باشد، به کمک ضرایب فردی انتقال جرم در هر فاز می توان خط QL را به عنوان "خط نیروی راننده" در انتهای دستگاه رسم نمود که در این صورت نقطه L نشان دهنده غلظتهای دو فاز در فصل مشترک خواهد بود.

چنانچه طول دستگاه انتقال جرم بیش از مقداری باشد که در شکل (۲۰-۳) نشان داده شده است، نقطه Q به منحنی تعادل نزدیکتر قرار خواهد گرفت، تا جایی که امکان دارد طول دستگاه به اندازه ای باشد که نقطه T ، محل تقاطع خط تبادل با منحنی تعادل، مشخص کننده نقطه خروج از دستگاه باشد که در آن صورت دو فاز در حال تعادل با یکدیگر، از دستگاه خارج می گردند و غبظتهای آنها برابر با X_e و Y_e می باشد. در چنین نقطه ای نیروی راننده برای انتقال جرم برابر با صفر است، در نتیجه انتقال جرم متوقف می گردد. چنانچه جهت انتقال جرم از فاز E به فاز R باشد، خط تبادل در بالای منحنی تعادل قرار می گیرد. چنین حالتی در شکل (۲۱-۳) نشان داده شده است.



شکل (۲۰-۳) نمودار انتقال جرم از R به E در حالت پایا و همسو [۵]

لازم به یادآوری است که در شکلهای (۲۰-۳) و (۲۱-۳)، مستقیم بودن خطوط تبادل به خاطر استفاده از واحدهای ویژه ای در نوشتن روابط موازنه ماده است. برای نمونه استفاده از غلظتهای نسبی مولی و مقادیر ثابت R_S و E_S در نوشتن روابط موجب می شود تا خطوط تبادل خط راست شود. چنانچه معادله (۵-۳) در مختصات اجزای مولی (xy) و یا بر حسب مقادیر متناسب با آنها مانند فشار جزئی یا حلالیت رسم گردد، خط تبادل بدست آمده به صورت خط مستقیم نخواهد بود و در این صورت به آن منحنی تبادل گفته می شود. چنین حالتی در شکل (۲۲-۳) نشان داده شده است. در این حالت امتداد منحنی PQ به منظور یافتن نقطه T ، که مشخص کننده حد نهایی غلظتهای دو فاز است، به آسانی حالتی که منحنی تعادل به صورت خط راست است، انجام پذیر نمی باشد.

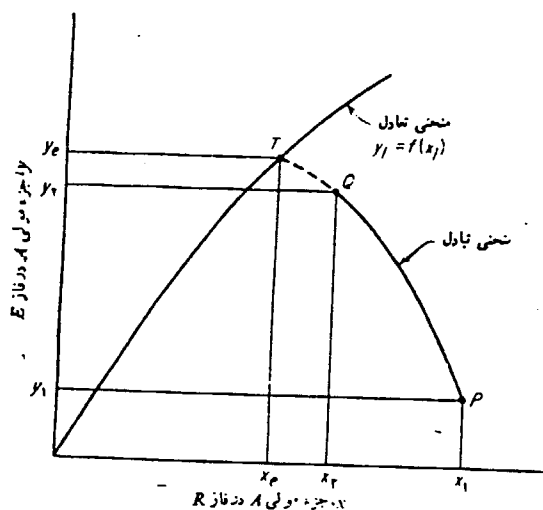


شکل (۳-۲۱) - نمودار انتقال جرم از E به R در حالت پایا و جریان همسو [۵]

در مواردی که برای نمونه، به خاطر نفوذ متقابل اجزای مختلف، با وجود تغییر غلظت جزء مورد نظر در هر فاز مقادیر R و E و یانسیب این دو ثابت باقی بمانند، استفاده از مختصات $X-Y$ منجر به دستیابی به خط مستقیم تبادل خواهد گردید.

از مطالب بالا می توان نتیجه گرفت که خط (یا منحنی) تبادل در نتیجه رسم کردن معادله موازنه ماده بدست می آید. هر نقطه روی خط تبادل بیانگر غلظتهای توده در دو فاز مجاور هم می باشد. به این جهت خط تبادل از دو نقطه ای که مشخص کننده غلظتهای خروجی فازها از دستگاه می باشد عبور می کند.

به بیان دیگر، خط تبادل یک دستگاه انتقال جرم، مکان هندسی غلظت جزء منتقل شونده در هر یک از دو فاز و در هر سطح مقطع از دستگاه است و همیشه از موازنه جرم جزء منتقل شونده برای قسمتی از دستگاه بدست می آید [۲۷، ۴].



شکل (۲۲-۳) - نمونه ای از منحنی تبدیلی [۵]

۳-۳-۲ - فرآیندهای جریان ناهمسو در حالت پایا

شکل (۲۳-۳) فرآیندی را نشان می دهد که دو فاز در جهت ناهمسو درون دستگاه حرکت کرده و در تماس با یکدیگر قرار می گیرند. اگر زیرنویس ۱ را مربوط به آن سر از دستگاه که فاز R وارد وزیرنویس ۲ مربوط به سر دیگر که فاز R خارج می شود در نظر بگیریم، رابطه موازنه ماده برای دور پوش ۱ عبارت خواهد بود از:

$$E_2 Y_2 + R_1 X_1 = E_1 Y_1 + R_2 X_2 \quad (9-3)$$

$$R_s (X_1 - X_2) = E_s (Y_1 - Y_2) \quad (10-3)$$

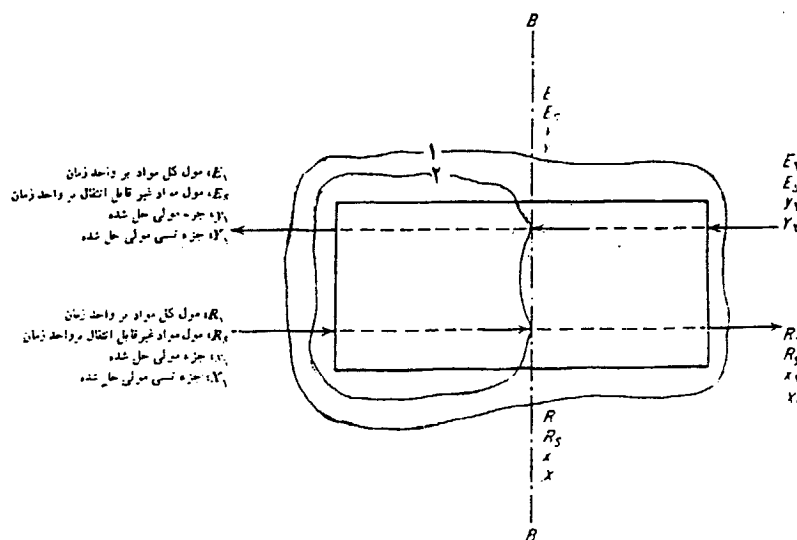
همچنین رابطه موازنه ماده برای دورپوش ۲ عبارت است از:

$$E_y + R_1 X_1 = E_1 Y_1 + R_x \quad (11-3)$$

$$R_s (X_1 - X) = E_s (Y_1 - Y) \quad (12-3)$$

در حالی که معادلات (۹-۳) و (۱۰-۳) تنها مربوط به رابطه بین غلظتهای دو فاز در دو سر دستگاه است، معادلات (۱۱-۳) و (۱۲-۳) روابط موجود بین غلظتهای دو فاز را در درازای دستگاه بیان می کند. در شکل (۲۴-۳) معادله (۱۰-۳) در مختصات X-Y به صورت خط

راستی که از نقاط (X_1, Y_1) و (X_2, Y_2) می گذرد و دارای شیب R_S/E_S می باشد، رسم شده است. چنانچه جهت انتقال جرم از فاز E به فاز R باشد، این خط در بالای منحنی تعادل قرار خواهد گرفت. برعکس، چنانچه انتقال از فاز R به فاز E باشد، این خط در زیر منحنی تعادل قرار می گیرد.



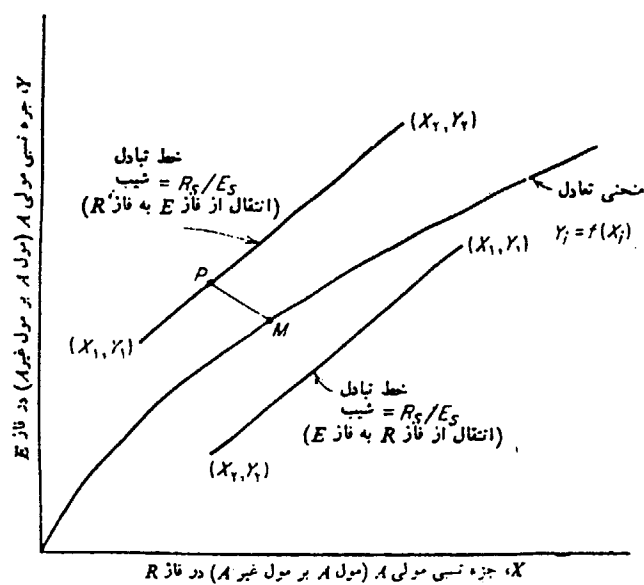
شکل (۳-۲۳) - دستگاه انتقال جرم در حالت پایا و جریان ناهمسو [۵]

در حالت اول نقطه P را که مختصات آن نشان دهنده غلظتهای توده دو فاز در نقطه دلخواهی در درون دستگاه است، در نظر می گیریم. از این نقطه می توان خط PM را که شیب آن بستگی به نسبت ضرایب فردی انتقال جرم در هر فاز دارد، به عنوان معیاری از نیروی راننده موجود برای انتقال جرم در آن نقطه رسم نمود. آشکار است که به خاطر تغییر پیوسته غلظتها، مقدار این نیرو از نقطه ای به نقطه دیگر درون دستگاه متغیر می باشد.

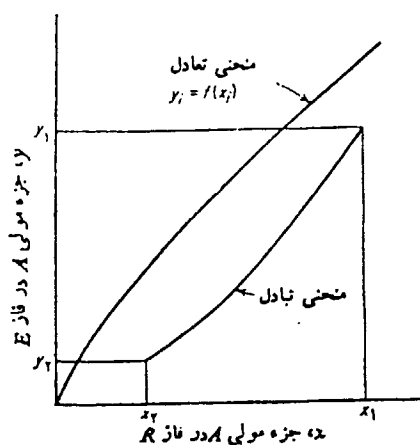
در حالت ویژه ای که خط تبادل منحنی تعادل را قطع نماید، در نقطه تقاطع، نیروی راننده برای انتقال جرم از بین رفته، شدت انتقال برابر با صفر می گردد. به عبارتی، در این حالت انتقال مقدار معینی از جرم نیازمند گذشت بی نهایت زمان می باشد. بنابراین همواره باید از پدید آمدن چنین حالتی دوری نمود.

همانند آنچه که در مورد فرآیندهای همسو گفته شد، مستقیم بودن خط تبادل بستگی به نوع غلظتی دارد که در نوشتن رابطه انتقال جرم مورد استفاده قرار می گیرد. (جزء مولی یا غلظت نسبی مولی). خطوط تبدیلی که در شکل (۳-۲۴) رسم شده است، از آن جهت به

صورت خط راست درآمده است که معادلات آنها بر حسب غلظت‌های نسبی مولی X و Y و مقادیر ثابت R_S و E_S بیان شده است. چنانچه آن معادلات بر حسب اجزای مولی (و یا مقادیری مانند فشار جزئی که متناسب با جزء مولی است) بیان شود، خط تبادل به صورت یک منحنی مانند آنچه که در شکل (۳-۲۵) نشان داده شده است، ظاهر خواهد شد.



شکل (۳-۲۴) - نمودار انتقال جرم در حالت پایا جریان ناهمسو [۵]



شکل (۳-۲۵) - نمونه ای از منحنی تبادل [۵]

با وجود تغییر پیوسته غلظت در دوفاز در طول دستگاه، در برخی موارد، مقادیر R و E تغییر زیادی نمی نمایند، و استفاده از اجزای مولی X و Y در نوشتن رابطه موازنه ماده و رسم آن در

مختصات X-Y منجر به دستیابی به خط راست خواهد گردید. همانند آنچه که در مورد فرآیندهای هم جهت گفته شد، چنانچه مقادیر R و E در اثر انتقال اجزای بین فازها در طول دستگاه تغییر یابد، خط تبادل به صورت یک منحنی ظاهر خواهد شد.

در فرآیندهای جریان متقابل، خط تبادل، نموداری از رابطه موازنه ماده برای جزء منتقل شونده در دستگاه است. این خط از دو نقطه ای که مختصات هر کدام غلظت های توده دو فاز مجاور هم در سر و ته دستگاه است می گذرد.

مختصات هر نقطه بر روی این خط برابر با غلظت توده دو فاز مجاور یکدیگر در نقطه ای درون دستگاه می باشد. چنانچه ترتیب قرار گرفتن برخی از جملات در معادله (۳-۱۱) را تغییر دهیم، داریم:

$$Ey - Rx = E_1y_1 - R_1x_1 \quad (3-11)$$

مقدار سمت چپ این معادله با مقدار نتیجه شده جزء A که به سمت چپ مقطع BB در شکل (۳-۲۳) در جریان است، برابر است. همچنین، مقدار سمت راست این معادله مقدار نتیجه شده جزء A است که از سمت چپ دستگاه خارج می گردد. این مقدار که با مجموع جبری دو مقدار ورودی و خروجی جزء A برابر است، در حالت پایا برابر با مقدار ثابتی است. پس در هر نقطه واقع بر روی خط تبادل شدت جریان جزء منتقل شونده مقداری ثابت و برابر با مقدار آن در دو سر دستگاه می باشد [۲۸،۴].

۳-۳-۳- مرحله

یک مرحله عبارت از دستگاه و یا ترکیبی از دستگاههایی است که در آن دو فاز نامحلول در مجاورت یکدیگر قرار می گیرد و در اثر انتقال جرم به سمت حالت تعادل با هم رانده می شود و سپس در اثر یک عامل مکانیکی از یکدیگر جدا می گردد. فرآیندی که به صورت بالا در یک مرحله انجام گیرد، فرآیند تک مرحله ای نامیده می شود. یک مرحله ایده آل به مرحله ای گفته می شود که در آن زمان تماس بین دو فاز چنان زیاد است که هنگام خروج از مرحله، حالت تعادل بین دوفاز برقرار گردد [۴].

۳-۳-۴- فرآیندهای جریان همسو و پیوسته

عمل انتقال جرمی که در شکل (۳-۱۹) نشان داده شده است، مربوط به یک فرآیند تک مرحله ای می باشد. چنانچه این مرحله یک مرحله دلخواه باشد، دو فاز خروجی در حال تعادل با یکدیگر است که در شکل (۳-۲۰) و یا (۳-۲۱) با نقطه T مشخص می گردد [۴].

بنا به تعریف، بازده مرحله ای یک مرحله واقعی بر حسب نزدیکی فازها به حالت تعادل، در هنگام خروج از مرحله بیان می شود. با توجه به این تعریف، کمیتهای مختلفی می تواند به عنوان بازده مرحله ای بکار رود. از جمله، با توجه به شکل (۳-۲۷)، این بازده را می توان نسبت خط AB به خط AC برابر فرض کرد، و یا به بیان دیگر بازده مرحله ای را می توان برابر با نسبت مقدار انتقال جرم به مقداری دانست که در صورت برقراری تعادل بین دو فاز خارج شونده انتقال می یافت. بازدهی که بیشتر از همه، مورد استفاده قرار می گیرد، بازده مورفری (Murphree) است. این بازده برابر با نسبت تغییر غلظت بدست آمده در یک فاز هنگام خروج، بر تغییر غلظتی است که در صورت برقراری تعادل با فاز خروجی دیگر در آن فاز ایجاد می گردید. با توجه به شکل (۳-۲۷) این بازده را می توان برای فاز E و یا فاز R به صورت جداگانه زیر تعریف نمود:

$$E_{ME} = \frac{y_2 - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{\overline{BF}}{\overline{DF}}, E_{MR} = \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_2} = \frac{\overline{FA}}{\overline{GA}} \quad (۱۴-۳)$$

مقادیر E_{MR} و E_{ME} که دو بازده مورفری را در هر فاز نشان می دهد، بیشتر اوقات مستقل از یکدیگر می باشد و تنها در حالتی که منحنی تعادل خط راست باشد، می توان آنها را به یکدیگر مربوط ساخت.

برای یک سری از مراحل، بازده کلی E_0 ، بیانگر نسبت تعداد مراحل دلخواه به تعداد مراحل مورد نیاز است:

$$E_0 = \frac{n}{n_T} \quad (۱۵-۳)$$

برای یک مرحله که قسمتی از یک سری مراحل است، $E = \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}}$ ، E_{MR} و E_{ME} مساوی نیستند و با E_0 نیز برابر نمی باشند.

این روابط زمانی که منحنی تعادل بصورت خط مستقیمی باشد (ضریب پراکندگی ثابت باشد)، باهم نسبت دارند. در جدول (۳-۱) تعدادی از این روابط آمده است [۳۰، ۹].

Single Stages:

(Batch or continuous):

$$E = \frac{E_{MR}(1 + \epsilon)}{1 + \epsilon E_{MR}} = \frac{E_{MR}(1 + \epsilon)}{\epsilon + E_{MR}}$$

$$E = 1 - e^{-N_{OR}(1 + \epsilon)} = 1 - e^{-N_{OR}(\epsilon + 1)/\epsilon}$$

$$E_{MR} = \frac{\epsilon E}{\epsilon - E + 1} = \frac{\epsilon E_{MR}}{1 + E_{MR}(\epsilon - 1)}$$

$$E_{MR} = \frac{E}{\epsilon(1 - E) + 1} = \frac{E_{MR}}{E_{MR}(1 - \epsilon) + \epsilon}$$

Batch:

$$N_{OR} = \frac{-\ln(1 - E)}{1 + \epsilon} = \frac{\theta}{\theta_{OR}} = \frac{K'_{RA} \alpha V \theta}{L_R} = \frac{K_{RA} \alpha V \theta}{V_R}$$

$$N_{OR} = \frac{-\epsilon \ln(1 - E)}{1 + \epsilon} = \frac{\theta}{\theta_{OR}} = \frac{K'_{RA} \alpha V \theta}{L_R} = \frac{K_{RA} \alpha V \theta}{V_R}$$

Continuous, no backmixing:

$$N_{OR} = \frac{-\ln(1 - E)}{1 + \epsilon} = \frac{K'_R a H}{L_R} = \frac{K_R a H}{V_R}$$

$$N_{OR} = \frac{-\epsilon \ln(1 - E)}{1 + \epsilon} = \frac{K'_R a H}{L_R} = \frac{K_R a H}{V_R}$$

Continuous, raffinate completely backmixed:

$$N_{OR} = -\ln(1 - E_{MR}) = N_{OR}/\epsilon$$

$$E_{MR} = 1 - e^{-N_{OR}} = 1 - e^{-K'_R a H / L_R} = 1 - e^{-K_R a H / V_R}$$

Continuous, extract completely backmixed:

$$N_{OR} = -\ln(1 - E_{MR}) = \epsilon N_{OR}$$

$$E_{MR} = 1 - e^{-K'_R a H / L_R} = 1 - e^{-K_R a H / V_R}$$

Continuous, extract and raffinate completely backmixed:

$$N_{OR} = \frac{E_{MR}}{1 - E_{MR}}$$

$$N_{OR} = \frac{E_{MR}}{1 - E_{MR}}$$

Cross-flow (Cocurrent) Cascades:*

$$E_0 = \frac{\log(\epsilon E_{MR} + 1)}{\log(\epsilon + 1)} = \frac{\log[1 - \epsilon E_{MR}/(E_{MR} + \epsilon)]}{\log[1/(\epsilon + 1)]}$$

$$E_0 = 1 - \frac{\log(1 + \epsilon - \epsilon E)}{\log(\epsilon + 1)}$$

Countercurrent Cascades:*

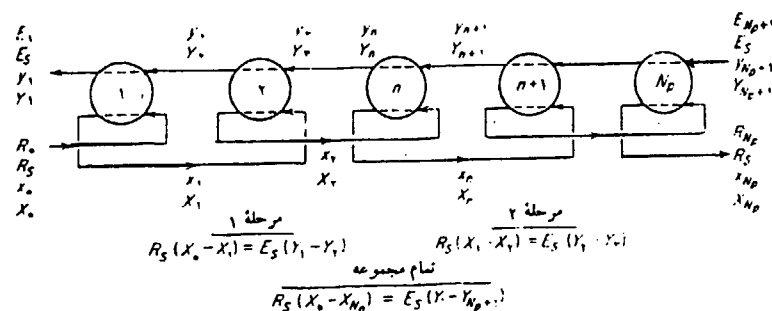
$$E_0 = \frac{\log[1 + E_{MR}(\epsilon - 1)]}{\log \epsilon} = \frac{\log[1 + E_{MR}(1/\epsilon - 1)]}{\log 1/\epsilon}$$

$$E_0 = \frac{\log \left[\frac{1 + \epsilon - E}{1 + \epsilon(1 - E)} \right]}{\log \epsilon}$$

جدول (۱-۳) - روابط بین بازده مراحل [۱۰]

۳-۳-۵- مجموعه مراحل جریان ناهمسو

در مقایسه با دیگر مجموعه ها، این مجموعه مراحل، بازده جمعی بیشتری را داراست و در ازای مقادیر ثابت شدت جریان دو فاز می تواند با تعداد مراحل کمتری، تغییر مورد نظر در غلظت فازها را بوجود آورد. به این جهت استفاده از مجموعه های جریان متقابل در عملیات انتقال جرم بسیار متداول می باشد. شکل (۳-۲۶) چنین مجموعه ای را که دارای N_p مرحله انتقال جرم است، نشان می دهد.

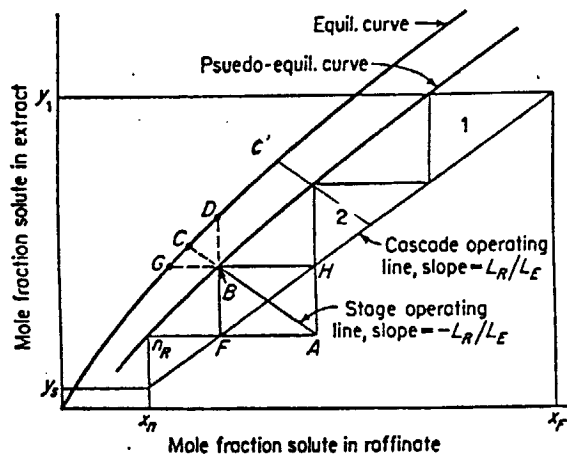


شکل (۳-۲۶)- مجموعه مراحل جریان ناهمسو [۵]

بنابر قرارداد، شدت جریان و غلظت فازها بر حسب شماره مرحله ای که فاز مزبور از آن خارج می شود شماره گذاری شده است. به عنوان نمونه Y_2 نشان دهنده غلظت در جریانی از فاز E است که از مرحله شماره ۲ خارج می شود. لازم به یادآوری است که باوجودی که روش عمل هر مرحله به تنهایی معادل با یک مرحله همسو است، مجموعه این مراحل معادل با فرآیند جریان ناهمسویی است که در شکل (۳-۲۳) نشان داده شده است.

علاوه بر مسیر حرکت فازها، معادلات خطوط تبادل برای مراحل هم جهت او ۲ برای تمام مجموعه، که از نوشتن روابط موازنه ماده به دور مراحل او ۲ و مجموعه مراحل بدست می آید. در شکل (۳-۲۶) ارائه شده است. از آنجایی که هرکدام از مراحل، دلخواه فرض شده است، دو جریان خارج شونده از هر مرحله در حال تعادل با یکدیگر است (به عنوان نمونه، Y_1 در حال تعادل با X_1 ، Y_2 در حال تعادل با X_2 و ...).

اکنون اگر کمی به واقعیت نزدیکتر شویم و از دلخواه بودن هر مرحله چشم پوشی کنیم، ناچاریم مراحل را با بازده واقعی رسم و محاسبه کنیم. این مسئله در شکل (۳-۲۷) به نمایش گذاشته شده است.



شکل (۲۷-۳) - رسم مراحل واقعی [۶]

در شکل (۲۷-۳) با داشتن معلوماتی مانند بازده هر مرحله، غلظت جزء منتقل شونده در فاز ۱ و ۲ و دیگر داده ها می توان یک مجموعه از مراحل را طراحی و رسم کرد. در شکل (۳-۲۷) پس از منحنی تعادلی و خط تبادل، منحنی شبه تعادلی که مکان هندسی غلظتهای واقعی مراحل است، رسم شده است.

جدول (۱-۳) تعدادی از روابط بین انواع بازده ها را برای زمانی که منحنی تعادلی خط راست باشد (ضریب پراکندگی ثابت باشد یعنی جزء C به یک نسبت در فاز A و B پراکنده شده باشد)، بیان می کند [۹].

۳-۴ - تجهیزات تماس مرحله ای، همزن - ته نشین کننده (Mixer-Settler)

بنا به تعریف یک مرحله دستگاہی است که در آن دو فاز نامحلول در تماس با یکدیگر قرار می گیرند (Mixer) و پس از انتقال جرم به سمت حالت تعادل با هم رانده می شود. سپس در اثر یک عامل مکانیکی (Settler) از هم جدا می شوند. یک چنین عملیاتی ممکن است به روش ناپیوسته یا روش پیوسته برای مایعات انجام شود. اگر عملیات ناپیوسته باشد، ظرف ته نشین کننده و مخلوط کننده یکی است اما این وضعیت برای شرایط پیوسته مختلف است و این عملیات در دو ظرف متفاوت انجام می گیرد [۹].

فرآیند آمیزش (Mixing)، باعث پراکندگی یکی از مایعات به شکل ریز، در دیگری می شود. فاز پراکنده شده ممکن است سنگین تر یا سبک تر از دیگر فاز مایع باشد.

در بیشتر حالات، در صنعت، جدایش پس از آمیزش، نیازمند استفاده بیش از یک مرحله فرآوری است. به هم پیوستن هر تعداد از مراحل (دستگاه) امکان ایجاد یک سری از مراحل را پدید می آورد [۳۰، ۹].

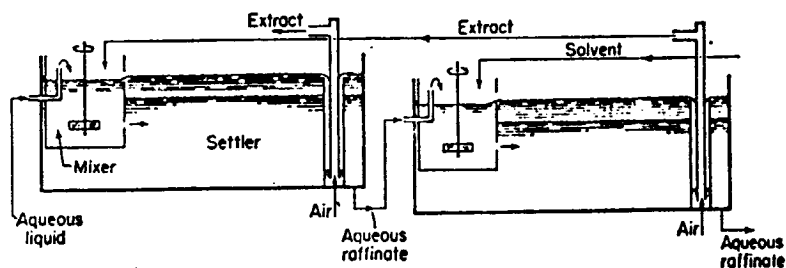


FIG. 10.42. Kerr-McGee uranium extractor.

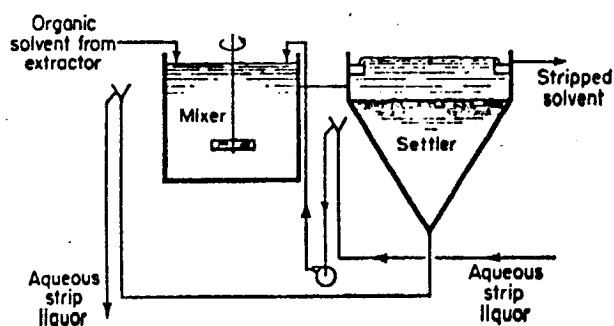


FIG. 10.43. Kerr-McGee uranium stripper.

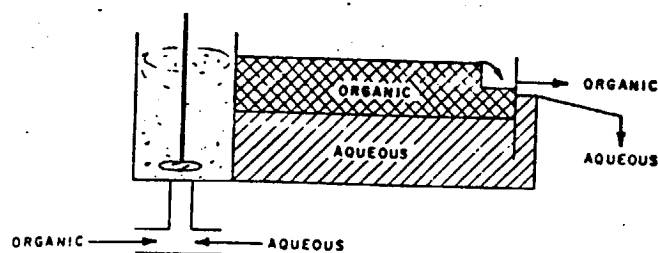


FIG. 25. Cross section of mixer-settler design.

شکل ۳-۲۸- نمایی از چند همزن- ته نشین کننده [۱۰]

فصل چهارم

آشنایی با نرم افزار

مقدمه

امروزه با توجه به گستردگی علوم و سرعت پیشرفت آن، رایانه را باید به عنوان یک محاسبه گر لازم در تشخیص جزئیات فرآیند بکار برد. چندین نرم افزار در زمینه مهندسی شیمی در دسترس هستند و کاربرد آنها در دانشگاهها، پژوهشگاهها و صنایع گوناگون در حال گسترش است. توانایی های آنها چنان در حال تکمیل و بهبود است که شاید بزودی بتوان هر آزمایش شیمیائی و یا فرآیند صنعتی شیمیائی را با دقت کافی، بصورت مجازی اجرا و تکرار کرد [۱۲].

حل مسایل واحد فرآوری با حلال، ترسیمی است. بنابراین به دقت و زمان زیادی نیاز دارد. برای برطرف کردن این مشکل، نرم افزار *SOLEX* (Solvent Extraction) تهیه شده است.

برای تهیه این شبیه ساز نخست مطالعاتی بر روی فرآیند فرآوری با حلال صورت گرفت. سپس نتایج بدست آمده به روشهای ترسیمی تبدیل شد. تبدیل روشهای ترسیمی به محاسبات ریاضی و تبدیل آن به محاسبات رایانه ای آخرین مرحله تهیه نرم افزار است. مهمترین دلایلی که موجب ساخت چنین بسته نرم افزاری شد عبارت است از:

۱- دخالت دادن علم نوین جهانی (رایانه) در عملکرد صنعت.

۲- افزایش سرعت و دقت در حل مسایل فرآوری با حلال.

۳- صرفه جویی در مصرف انرژی و مواد اولیه.

۴-۱- ساختار شبیه ساز و ویژگیهای آن

این نرم افزار به زبان Visual Basic 5.0 نوشته شده است، بنابراین امکان دستیابی به امکانات سیستم عامل Windows را دارد. ساختار شبیه ساز دارای نظم تسلسلی (Sequential Modular Approach) است.

کارایی صنعتی بهینه، سادگی برای استفاده کاربر یا کاربر پسندی و عدم محدودیت در بسیاری داده های ورودی، از ویژگیهای نرم افزار است.

۴-۲- توانمندیهای نرم افزار

الف- توانمندیهای صنعتی

۱- امکان طراحی متالورژیکی هر یک از واحدهای فرآوری و بازبایی، مستقل از دیگری.

۲- امکان انتخاب فلز دلخواه (استخراج شونده مورد نظر)، دقتهای عملیات و واحدهای صنعتی.

۳- امکان انتخاب نوع تماس هر مرحله (نوع تماس کلی مراحل، ناهمسو است).

۴- امکان دستیابی به معادله منحنی تعادلی بوسیله:

الف- وارد کردن ثابتهای معادله.

ب- نقاطی از منحنی تعادلی که به وسیله آزمایش بدست آمده است.

ج- اطلاعاتی در مورد حلال و شرایط سیستم (مانند pH، اسیدیته و دما و ...).

د- برخی پارامترهای عملیاتی مانند بازده مراحل، غلظت فلز در هر یک از فازها و ...

۵- امکان انتخاب مجهولات مورد نظر توسط کاربر.

۶- امکان حل مجهولات تعیین شده توسط دسته پرسشهای مشخص.

۷- ارائه پاسخهای عددی در کنار رسم نمودارهای تعادلی و نمودار جریان واحد.

۸- امکان ایجاد بانکهای اطلاعاتی (Data Base)، با توانمندی بالا از جمله مرتب سازی،

چاپ اطلاعات، حذف و اضافه بطور خودکار (Auto Increase).

۹- امکان نگهداری و ذخیره سازی گزارشهای روزانه و اطلاعات مورد نیاز واحد فرآوری با حلال.

ب- توانمندیهای آموزشی

۱- امکان پخش یک فیلم آموزشی در زمینه فرآوری با حلال.

۲- امکان ارائه اطلاعات مفید در زمینه معدن سرچشمه، تجهیزات فرآوری با حلال و

۴-۳- قسمت‌های مختلف شبیه ساز

نرم افزار دارای قسمت‌های مختلفی است که بترتیب شروع عملیات عبارتند از:

۴-۳-۱- پنجره شروع (Start Window)

آغاز همه فعالیتها از این پنجره می باشد، این پنجره از سه قسمت تشکیل شده است:

الف- پنجره های گشودنی (Menu Editor)

ب- کلیدهای تصویری (Icons)

ج- نوار اتصال

الف - ۱- پنجره عملیات (Operation)

با گشودن این پنجره، قسمت‌های زیر پدیدار می‌شود:
آغاز فرآیند جدید (New)، بررسی فرآیندهای پیشین (Open) خروجی از برنامه (Exit)
بخش New شامل زیرمجموعه‌های فرآوری (Extraction) و بازیابی (Stripping) می‌باشد.

الف - ۱-۱- طراحی فرآیند فرآوری جدید (New)

با انتخاب این گزینه طراحی فرآیند با پدیدار شدن پنجره انتخابها، آغاز می‌شود.

الف - ۱-۱-۱- پنجره انتخابها (Selections)

در بالای این پنجره، کاربر سه پیش فرض نرم افزار را در حل مسائل می‌بیند. باتوجه به آنها شروع به انتخاب موارد زیر می‌کند.

با استفاده از جعبه آویزان، نام فلز مورد نظر را انتخاب می‌کند. در این جعبه نام سه فلز مس، روی و طلا وجود دارد. اگر فلز مورد نظر هیچکدام از این سه فلز نباشد، کاربر نام فلز موردنظر را درون جعبه متن می‌نویسد.

انتخاب بعدی، دقت عملیات است که به ترتیب، ۰/۱، ۰/۰۱، و ۰/۰۰۱ می‌باشد. نوع تماس جریانها در هر مرحله انتخاب بعدی کاربر است. دو نوع تماس هم سو و ناهمسو برای هر مرحله در نظر گرفته شده است. توضیح اینکه نوع تماس کلی، ناهمسو می‌باشد. کاربر می‌تواند نوع واحدهای موردنظر خود را در این پنجره انتخاب نماید. این واحدها برای غلظت، دبی و دما می‌باشد.

در پایان، کاربر با فشار کلید Next به صفحه بعد می‌رود.

الف - ۱-۱-۲- پنجره منحنی تعادلی (Equilibrium Curve)

در این پنجره، کاربر وضعیت منحنی تعادلی را مشخص می‌کند. بدین صورت که از چهار گزینه زیر یکی را انتخاب می‌کند و کلید Next را فشار می‌دهد.

۱- معادله منحنی: با انتخاب این گزینه، پنجره معادله منحنی تعادلی باز می‌شود.

۲- نقاط تعادلی: با انتخاب این گزینه، پنجره نقاط تعادلی باز می‌شود.

۳- اطلاعات حلال: با انتخاب این گزینه، بانک اطلاعاتی حلال باز میشود.

۴- هیچکدام: این گزینه موجب اجرا شدن دسته دو پرسشها می‌شود.

الف - ۱-۱-۳- پنجره معادله منحنی (Equation Of Curve)

نرم افزار معادله منحنی تعادلی (پراکندگی) فلز در دو فاز را برای هر دو فرآیند فرآوری و بازیابی، $y = A + B \ln(x)$ فرض کرده است. در این پنجره کاربر ثابتهای معادله فوق (B,A) را وارد می کند.

الف- ۱-۱-۴- پنجره نقاط تعادلی (Equilibrium Points)

بدست آوردن معادله یک منحنی ممکن است با داشتن شماری از نقاط منحنی، انجام شود. در مورد منحنی پراکندگی، مختصات این نقاط غلظت فلز در فاز آبی و فاز آلی است. یک پیام در بالای کلیدها دیده می شود که بیانگر تعداد کمینه نقاط لازم ورودی با توجه به دقت انتخاب شده است.

با فشار کلید Next، نرم افزار ثابتهای معادله منحنی را بر حسب لگاریتم طبیعی حساب کرده و ضریب همگرایی (r) آن را می دهد. پاسخ این صفحه در پنجره معادله منحنی تعادلی وارد می شود.

الف- ۱-۱-۵- پنجره اطلاعات حلال (Solvent Information)

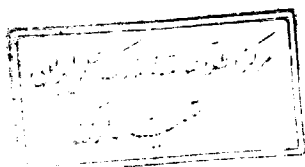
این بانک اطلاعاتی با توجه به میزان اطلاعات موجود در آن می تواند به کاربر خود خدمت کند. کاربر با توجه به نام و درصد استخراج کننده، نام رقیق کننده، pH، دما و اسیدیته محیط و شرایط فاز آبی، معادله موجود برای هر یک از شرایط را به کاربر ارائه دهد.

الف- ۱-۱-۶- گزینه هیچکدام (None)

کاربر زمانی این گزینه را انتخاب می کند که معادله منحنی تعادلی را یک مجهول فرض کند و بدینوسیله خواستار محاسبه منحنی تعادلی می شود. انتخاب این گزینه دسته دوم را اجرا می کند.

الف- ۱-۱-۷- پنجره انتخاب مجهولات (Unknowns)

برخلاف بسیاری از نرم افزارها که در آنها کاربر حق انتخاب مجهولات خود را ندارد، این نرم افزار به کاربر اجازه می دهد تا مجهول مورد نظر مسئله خود را بیابد. برای راحتی کاربر، این مجهولات در دسته بندیهای قرار گرفته اند. این دسته بندیها براساس نوع فازها، بازده عملیات و می باشد. با انتخاب یک مجهول، دیگر مجهولات وابسته به آن، اجرا ناپذیر (Unable) می شود. با فشار کلید Next، نرم افزار جعبه کلید را نشان میدهد.



الف - ۱-۱-۸- جعبه کلید (Key Box)

این جعبه با داشتن پنج کلید، اجازه انتخاب پنج دسته سوال را به کاربر می دهد. با توجه به مجهولات انتخاب شده توسط کاربر، برخی از شماره پرسشها اجراپذیر هستند. با فشردن هر یک از شماره ها، گروه پرسش مورد نظر اجرا می شود.

الف - ۱-۱-۹- صفحه پرسشها (Question)

در بالای هر صفحه پرسش، تابلویی وجود دارد که خروجیهای دسته پرسش اجرا شده را اعلام می کند.

کاربر پس از کسب اطمینان از اینکه دسته سوال مورد نظر می تواند مجهولات دلخواهش را پاسخ گوید، شروع به پاسخگویی به خواسته های مسئله می کند. در پایان، کاربر با فشردن کلید Next، صفحه پاسخها را می بیند. نخست پرسشهای مربوط به جریان همسو را شرح می دهیم و سپس تفاوت این رشته پرسشها با پرسشهای جریان ناهمسو توضیح داده می شود.

الف - ۱-۱-۹-۱- دسته پرسش ۱ (Class 1)

مهمترین مجهولی که این دسته پرسش پاسخ می دهد، بازده هر مرحله است. کاربر برای بدست آوردن این پاسخ، باید به سوالاتی مانند:

غلظت فلز در جریانهای خوراک فاز آبی، ورودی فاز آلی، خروجیهای فاز آبی و همچنین دبی فازها پاسخ دهد.

روش ریاضی حل مسئله: با توجه به شکل (۳-۲۷) مسئله را برای مرحله شماره ۳ حل می کنیم. با داشتن مقادیر غلظت در ورودیهای دو فاز، نقطه H مشخص است. از نقطه H خط تبادل را با شیب نسبت دبی فازها رسم می کنیم. محل برخورد مقدار غلظت در ورودی فاز آلی به مرحله ۳ (خط BH) و مقدار غلظت در خروجی فاز آبی از مرحله ۳ (خط BF)، نقطه B می باشد. از نقطه B خط تبادل هر مرحله را با شیب منفی خط تبادل کلی رسم می کنیم. دو نقطه A, C بدست می آید. نسبت $\frac{AB}{AC}$ بازده هر مرحله را می دهد.

الف - ۱-۱-۹-۲- دسته پرسش ۲ (Class 2)

هدف از حل این دسته پرسش، محاسبه ثابتهای معادله منحنی تعادلی است. کاربر برای دریافت پاسخ این سوال باید به سوالاتی مانند:

غلظت فلز در جریانهای خوراک فاز آبی و آلی، خروجی های فاز آبی و همچنین دبی فازهای آبی و آلی و بازده هر مرحله پاسخ گوید.

روش حل ریاضی مسئله: با توجه به شکل (۳-۲۷) و داده های مسئله، نقطه A و نقطه B مشخص است. هدف بدست آوردن نقطه C می باشد. نتیجه ضرب طول پاره خط AB در بازده مرحله، طول پاره خط AC است. و چون نقطه A ثابت است پس نقطه C بدست می آید. همین عملیات را برای مرحله دوم نیز انجام می دهیم تا نقطه C' بدست آید. با داشتن مختصات دو نقطه و معادله عمومی منحنی، ثابتهای معادله بدست می آید.

الف-۱-۱-۹-۳- دسته پرسش ۳ (Class 3)

هدف از حل این دسته پرسش، محاسبه غلظت فلز در جریان خروجی فاز آبی (Raffinate) و دیگر خروجی های فاز آبی و آلی می باشد.

کاربر برای دستیابی به پاسخ مورد نظر، باید اطلاعاتی در مورد غلظت فلز در ورودیهای هر یک از فازها، دبی فازها، بازده هر مرحله و میزان بازیافت (Recovery) داشته باشد.

روش حل ریاضی مسئله: با توجه به شکل (۳-۲۷) نقطه H مشخص است. نقطه B روی پاره خط GH و مرحله را رسم می کنیم. اگر بازده بدست آمده همان بازده خواسته شده توسط کاربر باشد، نرم افزار عملیات را برای مرحله بعد شروع می کند. در غیر اینصورت حدس اولیه را تغییر می دهد.

الف-۱-۱-۹-۴- دسته پرسش ۴ (Class 4)

دسته پرسش ۴، غلظت فلز در ورودیهای هر یک از فازها را محاسبه می کند. غلظت فلز در خروجیهای هر یک از فازها، دبی هریک از فازها و بازده هر مرحله، اطلاعاتی هستند که ارائه آنها برای دریافت پاسخ یادشده لازم است.

روش حل ریاضی مسئله: روش ریاضی این دسته پرسش درست مانند دسته سوال شماره ۳ می باشد. با این تفاوت که در این مسئله نقطه F در شکل (۳-۲۷) مشخص است و این بار نقطه B را بر روی پاره خط DF حدس می زنیم.

الف - ۱-۱-۹-۵- دسته پرسش ۵ (Class 5)

مهمترین خروجی این دسته پرسش، تعداد مراحل فرآوری است. ورودیهای این پنجره عبارتند از: غلظت فلز در ورودی و خروجی فاز آبی و خروجی فاز آلی، دبی هریک از فازها، بازده هر مرحله.

باید توجه داشت که چون تعداد مراحل، مجهول است، بازده تمام مراحل برابر فرض شده است.

روش ریاضی حل مسئله: روش حل این دسته پرسش نیز مانند روش بکاررفته در دسته پرسش ۴ می باشد. با این تفاوت که حلقه عملیات تا زمانی ادامه می یابد که تفاوت غلظت فلز در خوراک محاسبه شده و خواسته شده به حداقل برسند. شماره تکرار حلقه، تعداد مراحل است. فشردن دکمه Next در هر دسته پرسش، صفحه پاسخها را نمایش می دهد.

الف - ۱-۱-۱۰- صفحه پاسخها (Answers)

یکی از معایب موجود در برخی نرم افزارها، تراکم اطلاعات در خروجیهای آنها می باشد. این امر موجب سردرگمی کاربر می شود. نرم افزار *Solex* این مشکل را در خروجیهای خود حل کرده است.

کاربر اطلاعات خروجی نرم افزار را در صفحه ای زیبا همراه با زیرنویسهای درخشانده می بیند. وجود پنجره های گشودنی که با بازکردن هرکدام از آنها اطلاعات خروجی بصورت دسته بندی شده و واضح در اختیار کاربر قرار می گیرد، کاربر را در یافتن پاسخ مورد نظر یاری می کند. این صفحه تمام گزینه ها و اعدادی را که کاربر انتخاب کرده است، در اختیار وی می گذارد.

خروجیهای این نرم افزار بصورت های عددی و ترسیمی می باشد.

قسمتهای مختلف این پنجره عبارتند از:

۱- پنجره عملیات (Operation)

این پنجره دارای امکاناتی برای ثبت و چاپ اطلاعاتی می باشد که کاربر با این نرم افزار محاسبه کرده است.

قسمت (Open)، بانک اطلاعاتی نرم افزار را باز می کند. در این پنجره کاربر می تواند به دو روش، نتایج محاسبات را بر روی کاغذ چاپ کند. روش اول چاپ خلاصه (Summary)

Print) و روش دیگر چاپ کامل (Commpleat Print) است. خروج از این صفحه توسط بخش Exit انجام می شود.

۲- پنجره پاسخها (Answers)

این پنجره دارای قسمتهایی برای ارائه پاسخهای مربوط به هریک از فازهای آبی یا آلی، بازده ها، معادلات خطوط تبادل و منحنی تعادلی و اطلاعات عمومی از جمله نام فلز، نوع جریان تماس در هر مرحله، شماره دسته پرسش انتخاب شده و است.

۳- پنجره نمودارها (Drawing)

این پنجره شامل دو قسمت است:

الف- نمودار مک کیب- تیل (Graph) که قابلیتهای زیر را دارد:

۱- نرم افزار در این پنجره، منحنی تعادلی، خط تبادل کلی، غلظت فلز در فازهای آبی و آلی را رسم می کند.

۲- محورهای افقی و عمودی آن به پنج قسمت (Grid) تقسیم شده است و بر این اساس، درجه بندی و عدد گذاری شده است.

۳- استفاده از نوک علامت موش واره (Mouse) برای تعیین مختصات هر نقطه در صفحه نمودار (این مختصات در پایین صفحه قرار دارد و با حرکت موش واره بر روی صفحه نمودار، تغییر می کند).

۴- کاربر می تواند عنوان اصلی و عنوان هریک از محورهای افقی و عمودی را به دلخواه خود عوض کند.

۶- انتخاب رنگ دلخواه برای زمینه نمودار، از دیگر ویژگیهای جالب نرم افزار است.

ب- نمودار جریان واحد (Flowsheet) که گردش جریانها و چگونگی قرار گرفتن فازها را درون دستگاهها نشان می دهد.

۴- پنجره تغییرات (Change)

انتخاب این پنجره به کاربر اجازه می دهد تا تغییر مورد نظر خود را در مسئله وارد کند و بی آنکه نیازی به بازگشت به آغاز کار باشد.

لازم به یادآوری است که دسته پرسشهای نامبرده، برای حل مسایلی است که در آنها جریان فازها در هر مرحله همسو است. از دسته پرسشهای مربوط به مسایلی که در آنها جریان فازها در هر مرحله ناهمسو است، تنها دسته ۳ آنها با جریان همسو تفاوت دارد. در این دسته پرسش بجای غلظت فلز در ورودی فاز آلی، غلظت فلز در خروجی نهایی فاز آبی آمده است.

روش ریاضی حل دسته سه سوالات جریان ناهمسو: با توجه به شکل (۳-۲۷) ابتدا نقطه H را حدس می زنیم تا خط تبادل کلی بدست آید. سپس مانند دسته سوال ۳ مربوط به جریان همسو، نقطه B را روی پاره خط GH حدس می زنیم. این بار نسبت $\frac{BF}{DF}$ را با بازده خواسته شده توسط کاربر مقایسه می کند. عملیات تا جایی ادامه می یابد که تفاوت غلظت در خروجی فاز آبی خواسته شده و محاسبه شده به کمترین میزان خود برسد.

تفاوت حل مسایل واحدهایی که جریان هر مرحله آنها ناهمسو می باشد با واحدهایی که جریان هر مرحله آنها همسو است، در روش محاسبه بازده هر مرحله می باشد. بدین صورت که بازده هر مرحله جریان همسو، نسبت پاره خط AB به پاره خط AC در شکل (۳-۲۷) می باشد. اما این بازده برای هر مرحله با جریان ناهمسو، نسبت پاره خط BF به پاره خط DF در شکل (۳-۲۷) می باشد.

الف - ۲-۱- طراحی فرآیند بازیابی جدید

این قسمت شامل دو بخش می باشد. قسمت اول فرآیند بازیابی تک مرحله ای و قسمت دوم فرآیند بازیابی چند مرحله ای می باشد.

تفاوت این دو قسمت تنها در منحنی تعادلی می باشد که منحنی لگاریتمی در فرآیند چندمرحله ای، به خط مماس بر همان منحنی در فرآیند تک مرحله ای تبدیل شده است. این تنها با هدف سادگی نمایش نمودار می باشد. چراکه در محاسبات هیچ تأثیری ندارد.

قسمت دوم که فرآیند بازیابی چندمرحله ای را طراحی می کند نیز همانند فرآیند فرآوری می باشد و تنها تفاوت آن این است که غلظت فلز در فاز آبی (الکترولیت) بر روی محور Y ها و غلظت فلز در فاز آلی بر روی محور X ها قرار می گیرد. این بخاطر وارونه شدن جهت فرآیند انتقال جرم در سیستم بازیابی نسبت به سیستم فرآوری است. ترتیب اجرا شدن دیگر پنجره ها همانند فرآیند فرآوری می باشد.

الف - ۲- پنجره ابزار (Tools)

این پنجره شامل دو قسمت است :

الف- ۱-۲- پنجره فیلم (Film)

با فشردن عبارت Film، پنجره مربوط به آن باز می شود. نمایشگری که روی تصویر دیده می شود، توانایی پخش فیلم آموزشی دارد. این امر با امکانات وسیعی که در اختیار کاربر قرار گرفته امکانپذیر است.

از جمله توانایی های سیستم پخش فیلم می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- توانایی تنظیم صدا.

۲- توانایی تنظیم اندازه تصویر.

۳- دسترسی به سایر فیلمهای آموزشی از نقاط دیگر رایانه (Open).

۴- نوشتن دستورات در پنجره فرمان.

الف- ۲-۲- پنجره موسیقی (Music)

این پنجره کاربر را قادر می سازد تا برخی نسخه های علمی گفتاری را بشنود. این قسمت همچنین قادر به پخش موسیقی برای کاربر، ضمن انجام محاسبات می باشد.

الف- ۳- بانک اطلاعاتی (Data Base)

این پنجره شامل دو قسمت می باشد که عبارتند از:

الف- ۱-۳- بانک اطلاعاتی فرآیند (Process)

انتخاب این پنجره اطلاعاتی مانند نام فلز، نوع هر یک از فازها، شمار مراحل، نسبت حجمی فازها، غلظت فلز در ورودیها و خروجیهای دو فاز، بازده فرآیند، نوع فرآیند و معادله منحنی تعادلی را که ثبت شده است به کاربر نشان می دهد.

الف- ۲-۳- بانک اطلاعاتی حلال (Solvent)

این قسمت در بخش الف- ۱-۱-۵ شرح داده شده است.

لازم به یادآوری است که بانکهای اطلاعاتی با توجه به اطلاعات موجود در خود می توانند به کاربران اطلاعات ارائه دهند.

الف- ۴- گزارشهای روزانه واحد فرآوری با حلال (Logsheet)

این قسمت شامل پوشه ای با سه قسمت است که عبارتند از:

گزارش روزانه، نتایج آنالیز و توضیحات.

قدرت نوشتن به زبان فارسی در پرونده های اطلاعاتی این بانکها، هوشمند بودن آنها در مورد فهم تاریخ و ساعت از دیگر ویژگیهای آنهاست.

الف- ۵- پنجره اطلاعات (Information)

این پنجره دارای اطلاعات و تصاویری در زمینه معدن مس سرچشمه، فلز مس، استخراج کننده های آلی و تجهیزات فرآوری با حلال است.

الف- ۶- پنجره راهنما (Help)

این پنجره کاربر را در جهت استفاده صحیح از نرم افزار یاری می دهد.

ب- کلیدهای تصویری (Icons)

یک ردیف از کلیدهای تصویری در پنجره شروع نرم افزار دیده می شود که دسترسی کاربر را به تواناییهای نرم افزار راحتتر و سریعتر می کند.
زمانی که نوک موش واره بر روی هر کدام از کلیدهای تصویری می رود، متنی در کنار آن پدیدار می شود که نام و کارایی کلید را بیان می کند.

ج- نوار اتصال

این نوار همان وسیله ارتباط کاربر به سیستم عامل Windows است، که در پایین پنجره شروع نرم افزار قرار دارد و تکه آشنای شروع (Start) بر روی آن قرار دارد.

۴-۴- محدودیتهای نرم افزار

- ۱- این نرم افزار حالت پایا (Steady State) را بررسی می کند.
- ۲- این نرم افزار برای فرآوری از سیستمهای سه جزئی و دوفازی طراحی شده است.
- ۳- جریان در کل فرآیند فرآوری و بازیابی، ناهمسو (Countercurrent) در نظر گرفته شده است.
- ۴- معادله عمومی منحنی پراکندگی (تبادل) فرآیند فرآوری و بازیابی با ساختار ریاضی از نوع $y = A + B \ln(x)$ در نظر گرفته شده است.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

نتیجه گیری

با حل چند مثال، کاربرد نرم افزار را نشان می دهیم:

مثال ۱: مطلوب است محاسبه ثابتهای معادله منحنی تعادلی یک واحد فرآوری با حلال با ویژگیهای زیر:

تعداد مراحل فرآوری: ۲ مرحله. غلظت مس در ورودی فاز آبی به مرحله اول: $2/5$ گرم بر لیتر. غلظت مس در خروجی فاز آبی از مرحله دوم: $0/35$ گرم بر لیتر. غلظت مس در فاز آبی خروجی از مرحله اول $1/9$ گرم بر لیتر. غلظت مس در فاز آلی ورودی به مرحله اول $4/57$ گرم بر لیتر. نسبت دبی دو فاز: ۱ و بازده هر دو مرحله ۹۰٪ باشد. نوع جریان دو فاز در هر مرحله همسو است.

شروع عملیات: نخست گزینه Extraction را از پنجره Operation انتخاب می کنیم. فلز مس، دقت متوسط، واحد مورد نظر و نوع جریان هر مرحله را از پنجره انتخابها، بر می گزینیم. چون معادله منحنی تعادلی برای ما مجهول است، در پنجره (Equilibrium Curve) گزینه None را انتخاب می کنیم. با فشار کلید Next، دسته ۲

پرسشها ظاهر می شود که با وارد کردن اطلاعات بالا، می توان پاسخ را در صفحه پاسخها دریافت کرد.

$$y = 4.36 + 0.71 \ln(x) \quad \text{حل رایانه:}$$

$$y = 4.3 + 0.7 \ln(x) \quad \text{حل بوسیله کاغذ رسم:}$$

مثال ۲: یک واحد فرآوری با حلال، دارای دو مرحله استخراج می باشد. این واحد دارای شرایط زیر است :

غلظت مس در ورودی فاز آبی به مرحله اول: ۳/۵ گرم بر لیتر. غلظت مس در خروجی فاز آبی از مرحله دوم: ۰/۳۵ گرم بر لیتر. غلظت مس در فاز آبی خروجی از مرحله اول ۱/۹ گرم بر لیتر. غلظت مس در فاز آلی ورودی به مرحله اول ۴/۵۷ گرم بر لیتر. نسبت دبی دو فاز: ۱ است. نوع جریان دو فاز در هر مرحله همسو می باشد و معادله منحنی تعادلی در این سیستم از رابطه ریاضی $y = 4.36 + 0.71 \ln(x)$ پیروی می کند. بازده هر مرحله چقدر است؟

شروع عملیات : مانند مثال ۱ از پنجره انتخابها، نوع جریان و دیگر موارد را انتخاب می کنیم. چون معادله منحنی مشخص است، ثابتهای معادله را وارد می کنیم. از پنجره مجهولات بازده هر مرحله را انتخاب می کنیم. با فشار کلید Next، دسته ۱ پرسشها ظاهر می شود که با وارد کردن اطلاعات بالا، می توان پاسخ را در صفحه پاسخها دریافت کرد.

پاسخهای رایانه : بازده مرحله اول ۹۱/۱۹٪ و بازده مرحله دوم ۹۲/۶۳٪ می باشد.

مثال ۳: یک واحد فرآوری با حلال، دارای دو مرحله استخراج می باشد. این واحد دارای شرایط زیر است :

غلظت مس در ورودی فاز آبی به مرحله اول: ۳/۵ گرم بر لیتر. غلظت مس در فاز آلی ورودی به مرحله اول ۴/۵۷ گرم بر لیتر. نسبت دبی دو فاز: ۱ است. نوع جریان دو فاز در هر مرحله همسو می باشد و معادله منحنی تعادلی در این سیستم از رابطه ریاضی $y = 4.36 + 0.71 \ln(x)$ پیروی می کند. بازده هر مرحله ۹۰ درصد است. اگر میزان بازیابی مس در فاز آبی (Recovery) ۰/۹ باشد، و نقاطی از منحنی تعادلی به شرح زیر باشد:

$$A(0.4, 3.866) * B(1.66, 4.53) * C(2.2, 4.733) * D(1.466, 4.65)$$

مطلوب است محاسبه غلظت مس در خروجیهای نهایی فاز آبی و فاز آلی این واحد.

شروع عملیات : مانند مثال ۱ از پنجره انتخابها، نوع جریان و دیگر موارد را انتخاب می کنیم.

مختصات نقاط را وارد می کنیم. نتیجه درون یابی (Regresion) نقاط، معادله ریاضی $y = 4.36 + 0.51 \ln(x)$ با ضریب همگرایی، $r=0.98$ می باشد. از پنجره مجهولات، غلظت مس در خروجیهای هر فاز را انتخاب می کنیم. با فشار کلید Next، دسته ۳ پرسشها ظاهر می شود که با وارد کردن اطلاعات بالا، می توان پاسخ را در صفحه پاسخها مشاهده کرد. پاسخهای رایانه: $\text{Raffinate} = 0.35 \text{ gpl}$, $\text{Stripped Organic} = 1.42 \text{ gpl}$ می باشد.

مثال ۴: مطلوب است محاسبه شمار مراحل یک واحد فرآوری با حلال با ویژگیهای زیر: غلظت مس در ورودی فاز آبی به مرحله اول: $3/5$ گرم بر لیتر. غلظت مس در خروجی فاز آبی از مرحله دوم: $0/35$ گرم بر لیتر. غلظت مس در فاز آبی خروجی از مرحله دوم $1/42$ گرم بر لیتر. نسبت دبی دو فاز: ۱ و بازده هر مرحله ۹۰٪ باشد. نوع جریان دو فاز در هر مرحله همسو است و معادله ریاضی منحنی تعادلی $y = 4.36 + 0.51 \ln(x)$ می باشد.

با استفاده از دسته ۵ پرسشها شمار مراحل بدست می آید.

پاسخ نرم افزار: شمار مراحل را دو مرحله، محاسبه می کند.

مثال ۵: بازده مراحل واحد فرآوری مثال ۲ را محاسبه می کنیم، در شرایطی که نوع جریان ناهمسو می باشد. معادله ریاضی منحنی تعادلی نیز از رابطه $y = 4.36 + 0.51 \ln(x)$ پیروی می کند.

پاسخ رایانه: بازده مرحله اول $93/71$ و بازده مرحله دوم $64/73$ می باشد.

افت شدید بازده در مرحله دوم ناشی از تغییر جهت جریان و در نتیجه، تغییر روش محاسبه بازده، می باشد.

مثال ۶: مطلوب است محاسبه غلظت مس در ورودی جریان فاز آبی یک واحد بازیابی تک مرحله ای، با ویژگیهای زیر:

غلظت مس در ورودی فاز آلی به مرحله: $4/57$ گرم بر لیتر. غلظت مس در خروجی فاز آلی از مرحله: $1/28$ گرم بر لیتر. غلظت مس در فاز آبی خروجی از مرحله دوم $1/42$ گرم بر لیتر. غلظت مس در خروجی فاز آبی به مرحله: 20 گرم بر لیتر. نسبت دبی فازها یک است. نقاط $A(2.133, 50)$, $B(2.47, 60)$ در معادله منحنی تعادلی این واحد صدق می کند.

پاسخ رایانه: $\text{Spent Electrolyte} = 16.71 \text{ gpl}$

$y = 29.67(x) - 13.29$ معادله خط تعادلی این واحد بازیابی می باشد.

همانگونه که دیده می‌شود محاسبات با آنالیز کمترین شمار جریان فاز آلی بدست آمد. از آنجا که آنالیز نمونه‌ها هزینه‌بردار است، کاربرد نرم‌افزار در کاهش هزینه‌ها معلوم می‌شود. دقت محاسبات نیز رضایت بخش است.

با توجه به مثالهای یاد شده می‌توان نتیجه گرفت که سرمایه‌گذاری در بخش نرم‌افزارها و استفاده از آنها در حل مسائل صنعت، علاوه بر صرفه‌جویی در هزینه‌های آزمایشگاهی، سرعت و دقت محاسبات را افزایش می‌دهد. این امر با توجه به سرعت پیشرفت علوم در دنیای امروز و نیاز شدید صنعت کشور به همگام شدن با معیارهای جهانی جایگاه ویژه‌ای در برنامه‌ریزی‌های دانشگاهی پیدا می‌کند.

پیشنهادهات

برای بهبود کار با نرم‌افزار، مطالعه در مورد نمودارهای مک‌کیب - تیل و روشهای محاسبه بازده مراحل در این نمودارها پیشنهاد می‌شود. از وارد کردن اعدادی که مبنای محاسباتی درستی ندارند و در محاسبات، اشکال ایجاد می‌کنند، پرهیز شود.

اکنون این نرم‌افزار دو مرحله استخراج و یک مرحله بازیابی را طراحی می‌کند. توسعه نرم‌افزار برای حذف این محدودیت، توسط دانشجویانی که علاقمند به تحقیق در این زمینه می‌باشند، از دیگر پیشنهادات می‌باشد.

این نرم‌افزار طراحی متالورژیکی فرآیند استخراج با حلال را انجام می‌دهد. تکمیل نرم‌افزار با برنامه‌ای که قادر به طراحی مکانیکی دستگاهها نیز باشد، پیشنهاد مفیدی است. در این نرم‌افزار هر دو فاز غیرقابل امتزاج در نظر گرفته شده‌اند. پیشنهاد می‌شود برای نزدیکتر کردن نتایج به واقعیت، روابطی را جهت تأثیر حالتی جزئی دو فاز در یکدیگر، در نرم‌افزار وارد کنیم.

مراجع:

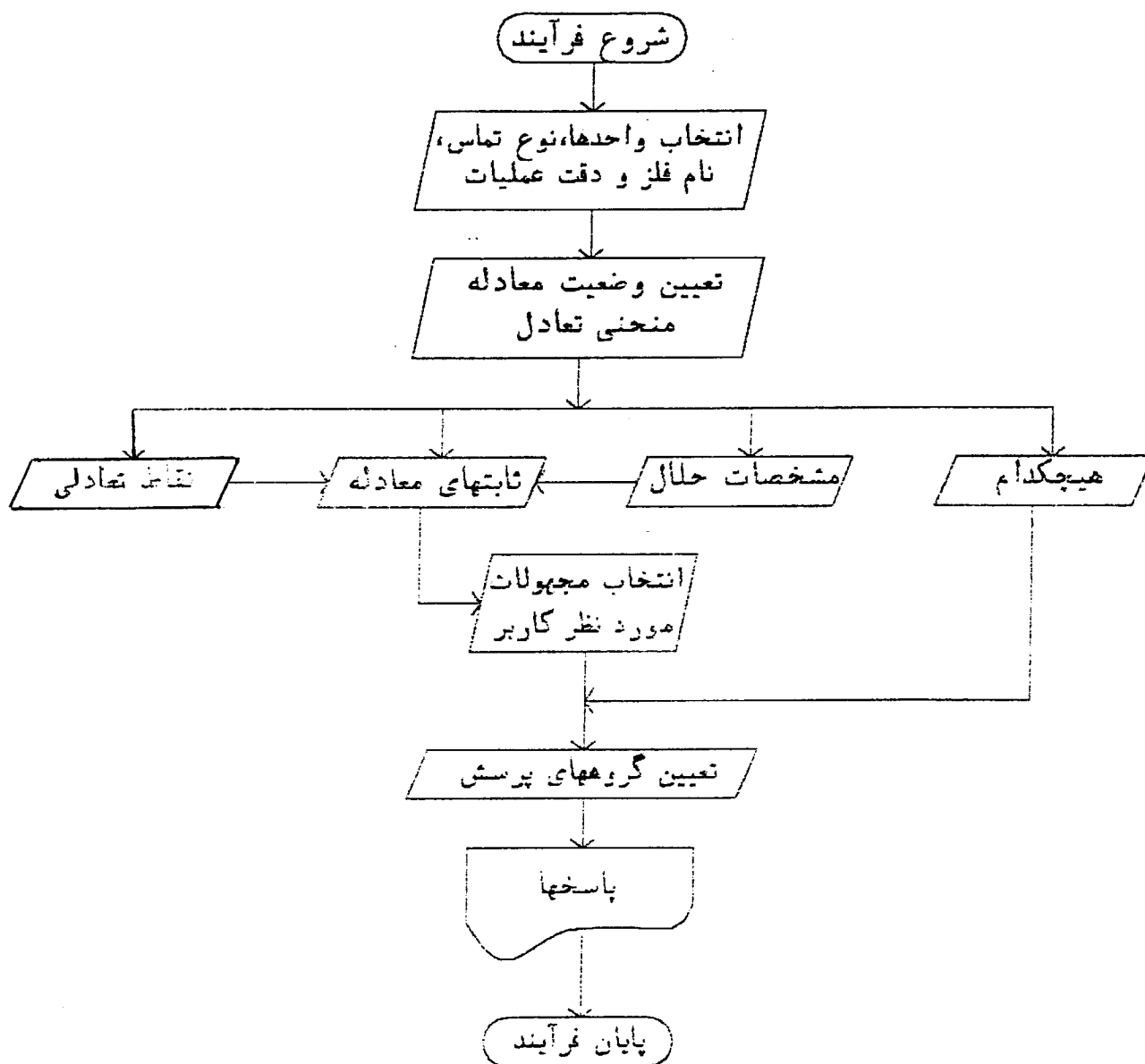
- ۱- حکمت رضوی زاده و ... رامز وقار/ متالورژی مس/ دانشگاه علم و صنعت ایران/ ۱۳۷۲.
- ۲- حسن شریف/ فراوری حرارتی مس/ دانشگاه امام حسین (ع)/ ۱۳۷۶.
- ۳- رامز وقار/ متالورژی عمومی/ دانشگاه تهران/ چاپ اول/ ۱۳۵۴.
- ۴- بیسواس/ فنون استخراج مس/ ترجمه حسین فرجی/ مرکز نشر دانشگاهی/ تهران/ چاپ اول/ ۱۳۷۱.
- ۵- رابرت تریبال/ عملیات انتقال جرم/ مؤسسه انتشاراتی علمی دانشگاه صنعتی شریف/ چاپ دوم/ ۱۳۷۰.
- ۶- رابرت تریبال/ عملیات واحد/ پریسا زینی/ چاپ اول/ پائیز ۱۳۷۰.
- 7- J.M. Coulson, J.F. Richardson\ Chemical Engineering\ Volume two\ Pergamon Press\ 1987.
- 8- Copper Hydrometallurgy Forum\ ALTA\ Melbourne- Australia\ 1997.
- 9- G.M. Ritcey\ Solvent Extraction\ part I\ Elsevier\ Ottawa\ 1984.
- 10- Robert E. Treybal\ Liquid Extraction\ Mc.Graw-Hill\ London\ 1963.
- 11- Norman L. Weiss\ SME Mineral Processing Handbook\ Volume 2\ Society of Mining Engineers\ New York\ 1985.
- ۱۲- محمد خشنودی/ نرم افزارها و شبیه سازهای فرآیندهای شیمیایی/ مجله شیمی/ شماره اول/ ۱۳۷۵.
- 13- Bird\ HandBook of Solvent Extraction\ Wiley\ New York\ 1985.
- 14- B.K. Tait, K.E. Modlalose, I. Taljoard\ The extraction of some metal ions by Lix 1104 dissolved in toluene\ Hydrometallurgy\ Elsevier\ South Africa\ 1994.

- 15- D.H. Logs dail, M.j.Slater\ Solvent extraction in the process industry\Elsevier\1993.
- 16- Yong Jiaoyong\Development of copper extraction technology in China\ Solvent extraction in the process industry\ Elsevier\1993.
- 17- Raymond F.Dalton, Raymond Price, Petter M.Quan\ Novel solvent extraction for recovery of copper from chloride leach solutions derived from sulphide ores\ Solvent extraction in the process industry\ Elsevier\ 1993.
- 18- A.W.Flynn. R.E. Trybal\A.I. Chemical Engineering Journal 324\1955.
- 19- R.E. Trybal\ AIChE J.474\ 1959.
- 20- R.E. Trybal\ The Phase Rule And Heterogeneous Equilibria\ Van Nostrand\ NewYork\1951.
- 21- A.S. Kertes and Marcusy\ Solvent Extraction Research\ 5th\ Wiley\ NewYork\ 1969.
- 22- A. Gaudin\ Copper Leaching- A Fresh Look Basic Factor\ World Mining\ Vol.27\ No.5\ May 1974.
- 23- J. Desher and K. Power\ Copper Solvent Extraction Process, from pilot study to full- scale plant\ Engineering and Mining Journal\ Vol. 172, No. 4\ April 1971.
- 24- Warwick and scuffham\ Solvent Extraction Today's Exciting Process For Copper And Other Metals\ World Mining\ vol.6, No.11\ oct. 1970.
- 25- R.R, Nelson and R.L. Brown\ The Design of Metal Producing Processes\ AIME\ 1967
- 26- G.M Ritcey and A.W. Ashbrook\ Inst. Min. Metal Trans\ 1969.

- 27- H.M.N.H. Irving\ Solvent Extraction Chemistry\ North Holland\ 1967.
- 28- Y.Marcuo and A.S.Kertes\ Ion Exchange And Solvent Extraction Of Metal Complexes\ Wiley\ NewYork\ 1969.
- 29- J.H. Perry\ Chemical Engineers Handbook\ 5th\ Mc.Graw-Hill\ NewYork\ 1973.
- 30- G.M.Ritcey and A.W. Ashbrook\ Solvent Extroction\ Port II\ Elsevier\ NewYork\1979.
- ۳۱- محمد سلطانی / طراحی متالورژیکی استخراج مس توسط حلال آلی / پایان نامه کارشناسی
بخش مهندسی شیمی دانشگاه سیستان و بلوچستان / دیماه ۱۳۷۶.
- 32- P.Harriott\ A.I.Ch.E.Journal 8\93\1962.
- 33- J.A. Quinn and D.B.Sigloh\ Chem.Eng.J.41\1963.
- ۳۴- جان سوچا و دان رامل / کتاب آموزشی Visual Basic 5 / انتشارات ناقوس / چاپ دوم /
تابستان ۱۳۷۷.
- ۳۵- راد استفنس / کتاب آموزشی Visual Basic 5 پیشرفته / کانون نشر علوم / چاپ اول /
خرداد ۱۳۷۷.
- ۳۶- استیون هولزنر / ویژوال بیسیک - برنامه نویسی مقدماتی / انتشارات نص / چاپ سوم /
تابستان ۱۳۷۷.
- ۳۷- احمد جامی و پریسا رضوی / آموزش جامع برنامه نویسی Visual Basic / انتشارات
بهینه / جلد اول / ۱۳۷۴.
- ۳۸- محمد نوروزی / نکاتی برای برنامه نویسی V.B. / مجله رایانه / شماره هشتادویکم / ۱۳۷۷.

پیوست

پیوست ۱- روند نمای نرم افزار



پیوست ۲

مقاله های ارائه شده در دومین کنگره متالورژی
فلزات غیر آهنی ایران در دانشگاه کرمان و
چهارمین کنگره بین المللی مهندسی شیمی
در دانشگاه شیراز

مدلسازی رایانه ای و طراحی متالورژیکی فرآیند استخراج مس توسط حلال آلی

رضا توضیح^۱ - محمد خشنودی^{۲*} - رضا آتش دهقان^۲ - شهرام دانش پژوه^۲

چکیده

در فرآوری مس از سنگهای اکسیدی و بویژه کرینتها از روش هیدرومتالورژی استفاده می شود. بدین ترتیب که ابتدا خرده سنگهای حاصله از انفجار را بصورت توده های عظیمی (Heap) درکنار معدن قرار می دهند. سپس اسیدسولفوریک رقیق شده را از بالای توده بصورت اسیدپاشی قطره ای روی توده می پاشند. مخلوط آب و اسید. مس را در خود حل کرده و از پایین توده و از روی یک لایه مقاوم در برابر اسید خارج می شود. چون غلظت مس در این فاز آبی کم است، از اینرو برای فرآوری با صرفه مس از آن، غلظت مس در این فاز آبی را توسط عملیات فرآوری مایع- مایع، افزایش می دهند. در این فرآیند از یک فاز آلی که فرآیند انتقال مس را بخوبی انجام می دهد، به عنوان یک فاز واسطه استفاده می کنند. این فاز آلی در مرحله فرآوری، مس را از فاز آبی اولیه می گیرد و آن را در فاز آبی نهایی (الکترولیت) غلیظ می کند. حل مسایل این واحد، ترسیمی بوده به دقت و زمان زیادی نیاز دارد. برای رفع این مشکل نرم افزاری تهیه شده است. این مقاله به بررسی برخی از ویژگیهای نرم افزار و دلایل تهیه آن می پردازد.

مهمترین دلایلی که موجب ساخت چنین بسته نرم افزاری شد، عبارتند از:
دخالت دادن علم نوین جهانی (رایانه) در عملکرد صنعت، افزایش سرعت و دقت در حل مسایل واحد SX، صرفه جویی در مصرف انرژی و مواد اولیه

واژه های کلیدی: غیس شویی- منحنی های تعادلی- خطوط تبادل- نظم تسلسلی- جریان نامممو

* دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه علوم و فنون مازندران

^{۲*} استاد بخش مهندسی شیمی دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۶۰-۴۴۶۲۵۱ (۰۵۴۱)، ۴۴۷۰۹۲ (۰۵۴۱)

رئیس واحد تحقیقات هیدرومتالورژی مس سرچشمه، ۳۵۹۳ (۰۳۹۲۲۸۲)، Dehghan@nicico.com

کارشناس واحد تحقیقات هیدرومتالورژی مس سرچشمه، ۲۴۴۸ (۰۳۹۲۲۸۲)

مقدمه

امروزه با توجه به گستردگی علوم و سرعت پیشرفت آن، رایانه را باید به عنوان یک محاسبه گر مناسب و سریع در تشخیص جزئیات فرآیند بکار برد. نرم افزارهای زیادی در زمینه مهندسی شیمی در دسترس هستند و کاربرد آنها در دانشگاهها، پژوهشگاهها و صنایع گوناگون در حال گسترش است. توانایی ها و قابلیت های آنها چنان در حال تکمیل و بهبود است که شاید بزودی بتوان هر آزمایش شیمیایی و یا فرآیند صنعتی شیمیایی را با دقت کافی انجام داد و تکرار کرد.

می توان بدون استفاده از دستگاههای عملیات واحد گران قیمت و بدون نیاز به مصرف مواد و انرژی، در شرایط مختلف فشار و دما به دور از خطرهای احتمالی، فرآیندهای پیچیده و گوناگون را در ذهن کامپیوتر انجام داد و نتایج بدست آمده را به صورت گزارشهای جدول بندی شده یا نمودارهای گویا بررسی نمود.

۱- آشنایی با روش هیدرومتالورژی مس

الف) تعاریف

متالورژی: علم جدا کردن فلز از سنگ معدن آن و آماده سازی فلز برای مصرف.

علم متالورژی به دو شاخه تقسیم می شود:

۱- پیرومتالورژی: استخراج فلز از سنگ معدن آن توسط عملیات حرارت دهی در دمای بالا، که موضوع که این مقاله نیست.

۲- هیدرومتالورژی: استخراج فلز از سنگ معدن آن توسط حل کردن در یک محلول آلی جاذب فلز.

ب) هیدرومتالورژی مس

۱- سنگهای معدنی مس: مس به سه صورت در طبیعت یافت می شود:

الف) سنگهای اکسیده: این سنگها بیشتر در سطح زمین وجود دارند و تغییرات جوی باعث می شود که سنگهای سولفوره به سنگهای اکسیده تبدیل شوند. کانی های مس از کریئات طبیعی، اکسیدها، سولفاتها و گاهی سیلیکاتها تشکیل شده اند. کوپریت (Cu_2O)، تنوریت (CuO) از جمله سنگهای اکسیدی هستند. اکسیدهای مس در تمامی حلال ها به آسانی حل می شوند.

ب) سنگهای سولفوره: سنگهای سولفوره برخلاف سنگهای اکسیده، در عمق بیشتری از پوسته زمین قرار گرفته اند. بیشترین قسمت سنگهای مس را سنگهای سولفوره تشکیل می دهند. کالکوسیت (Cu_2S)، کوولیت (CuS) از جمله سنگهای سولفوره هستند. سنگهای سولفوره به آسانی در حلالها حل نمی شوند و برای حل کردن آنها به عملیات جانبی نیاز است.

ج) مس طبیعی: مس گاهی به صورت آزاد در طبیعت یافت می شود. درجه خلوص این نوع مس گاهی تا ۹۹.۹۲ درصد می رسد.

۲- عملیات خیس شویی (Leaching Operation)

فرآوری مس به روش تر را می توان به دو مرحله تقسیم کرد: حل کردن و بازیابی حل کردن: عبارتست از اضافه کردن حلال به سنگهای معدنی. این حلالها باید تنها مس موجود در سنگ معدن را حل کرده و روی سایر عناصر موجود در سنگ معدن بی اثر باشند. همچنین مسئله اقتصادی (بهای حلال) و روشهای بازیابی آن، در انتخاب حلال نقش مهمی دارد. از جمله این حلالها اسید سولفوریک و اسید کلریدریک می باشد. از جمله روشهای حل کردن، استفاده از توده های بزرگ سنگهای معدنی (Heap) مس است. در این روش خرده سنگهای حاصل از عملیات انفجار معدن که عیار آنها کم می باشد را به صورت توده هایی (وزن این توده بین ۲۰ تا ۱۰۰ هزار تن می باشد) با مقطع دوزنقه ای شکل روی یک لایه ضد اسید قرار می دهند. اسید از بالای توده، بوسیله یک رشته لوله هایی که روی سطح بالایی توده گسترده شده اند بصورت اسیدپاشی قطره ای، روی آن ریخته می شود و از پایین جمع آوری می شود. محلول خروجی از واحد خیس شویی، روانه واحد فرآوری با حلال آلی (SX) می شود.

۳- فرایندهای استخراج و غریان سازی (بازیابی)

محلولی که از واحد خیس شویی خارج می شود، دارای عیار مس کم (0.8 تا 3 گرم بر لیتر) می باشد. بنابراین برای پرمیاری کردن محلول (جبت اقتصادی بودن فرآیند فرآوری) آن را با یک حلال آلی در یک مخلوط کننده (Mixer) به هم می زنند و سپس با گذراندن از درون یک ته نشین کننده (Settler)، این دو محصول از یکدیگر جدا شده و تشکیل دو فاز می دهند. جذب انتخابی یونهای مس از فاز آبی و انتقال آن به فاز آلی (فرآوری) بنا پدیده اسیر کردن (Chelating) و سپس انتقال معکوس یا دفع یونهای مس از حلال آلی به محلول آبی دیگر (عریان سازی) انجام می شود. بدین ترتیب محلول آلی آزاد شده و دوباره برای فرآوری بکار می رود. بدین ترتیب عیار مس در فاز آبی نهایی به حدود 30 تا 50 گرم در لیتر می رسد. اکنون این فاز آبی غنی از مس را می توان به عنوان الکترولیتی اقتصادی برای فرآوری مس در واحد الکترورینگ (EW) استفاده کرد.

برخی از حلالهای آلی رایج عبارتند از: Lix - 64 N, Acorga, Kelex- 100.

ج) مقایسه روشهای هیدرومتالورژی و پیرومتالورژی

مهمترین برتری روش هیدرومتالورژی این است که این روش، گاز دی اکسید گوگرد موجود در سنگ معدن را تبدیل به سولفاتهای فلزی میکند و از آلوده کردن محیط زیست که ویژگی کوره های حرارتی است جلوگیری میکند. در روش هیدرومتالورژی از سنگهای کم عیار و یا بقایای سنگهای بدون استفاده که پرمیاری کردن آنها بوسیله روش پیرومتالورژی غیراقتصادی است، میتوان استفاده کرد. یکی از دلایل ارزشمند بودن روش هیدرومتالورژی، صرفه جویی در مصرف سوخت است.

۲- ساختار شبیه ساز و ویژگیهای آن

این نرم افزار به زبان Visual Basic 5.0 نوشته شده است، بنابراین امکان دستیابی به تواناییهای سیستم عامل Windows را دارد.

ساختار شبیه ساز دارای نظم تسلسلی (Sequential Modular Approach) می باشد. برای شروع عملیات ابتدا کاربر جهت جریانها را نسبت به هم مشخص نموده، آنگاه با دادن اطلاعات مربوط به جریانهای ورودی واحد و پارامترهای مربوط به دستگاهها، مقادیر جریانهای خروجی محاسبه می شوند. کارایی صنعتی بهینه، سادگی جهت استفاده کاربر و عدم محدودیت در بسیاری داده های ورودی، از ویژگیهای نرم افزار است.

۳- توانمندیهای نرم افزار

الف) توانمندیهای صنعتی

- ۱- امکان طراحی متالورژیکی هریک از واحدهای فرآوری و جریان سازی مستقل از دیگری
- ۲- امکان انتخاب فلز دلخواه (استخراج شونده مورد نظر)، دقتهای عملیات و واحدهای صنعتی رایج
- ۳- امکان انتخاب نوع تماس جریان هر مرحله (نوع تماس جریان کلی واحد ناهمسو است)
- ۴- امکان دستیابی به معادله منحنی تعادلی بوسیله:
الف) نقاطی از منحنی تعادلی که به وسیله آزمایش یا از روشهای دیگر بدست آمده است
ب) اطلاعاتی در مورد حلال و شرایط سیستم (مانند pH، اسیدیته، دما و)
ج) برخی پارامترهای عملیاتی مانند تعداد مراحل، بازده مراحل، غلظت فلز در جریانهای آبی یا آلی، نسبت و دبی فازها و
- ۵- امکان انتخاب مجهولات مورد نظر توسط کاربر.
- ۶- امکان حل مجهولات تعیین شده توسط دسته سوالات مشخص.
- ۷- ارائه پاسخهای عددی در کنار رسم نمودارهای تعادلی و نمودار جریان واحد.
- ۸- امکان ایجاد بانکهای اطلاعاتی با توانمندی بالا از جمله مرتب سازی، چاپ اطلاعات، جستجو، حذف و اضافه (به طور خودکار) (Auto increase)
- ۹- امکان نگهداری و ذخیره سازی گزارشهای روزانه و اطلاعات مورد نیاز واحد الکترونیینگ و فرآوری با حلال (SX-EW).

ب) توانمندیهای آموزشی

- ۱- امکان پخش یک فیلم آموزشی در زمینه فرآوری با حلال و معرفی تجهیزات آن
- ۲- امکان ارائه اطلاعات مفید در زمینه معدن سرچشمه، استخراج کننده ها و رقیق کننده های آلی تجاری و تجهیزات فرآور با حلال.

۴- محدودیتها

- ۱- این نرم افزار حالت پایا (Steady State) را بررسی می کند.
- ۲- این نرم افزار برای انجام فرآوری سیستمهای ۳ جزیی و دوفازی طراحی شده است.
- ۳- جریان در کل عملیات فرآوری و جریان سازی، ناهمسو (Countercurrent) در نظر گرفته شده است.
- ۴- معادله عمومی منحنی تعادلی فرآیند فرآوری و جریان سازی، با ساختار $y=A+B\ln(x)$ فرض شده است.

۵- روش تحقیق

برای تهیه این شبیه ساز، نخست مطالعاتی بر روی واحد خیس شویی مجتمع مس سرچشمه صورت گرفت. سپس فرآیند فرآوری مایع- مایع مربوط به واحد (Sx) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده به روشهای ترسیمی (نمودارهای مک کیب- تیلی) (McCabe-Thiele) برای حل مسایل واحد انجامید. تبدیل روشهای ترسیمی به محاسبات ریاضی و سرانجام تبدیل محاسبات ریاضی به محاسبات رایانه ای آخرین مرحله تهیه نرم افزار است.

۶- نتیجه گیری

با حل یک مثال کارآیی نرم افزار نشان داده می شود.

مثال: مطلوب است محاسبه معادله منحنی تعادلی فرآوری واحدی با ویژگیهای زیر:

تعداد مراحل فرآوری: ۲ مرحله - غلظت مس در ورودی فاز آبی به مرحله اول: ۳/۵ گرم بر لیتر - غلظت مس در خروجی فاز آبی از مرحله دوم: ۰/۳۵ گرم بر لیتر - غلظت مس در فاز آبی خروجی از مرحله اول: ۱/۹ گرم بر لیتر - غلظت مس در فاز آلی ورودی به مرحله اول: ۴/۵۷ گرم بر لیتر - نسبت دبی دوفاز: ۱ و بازده هر دو مرحله ۹۰٪ باشد. نوع جریان هر مرحله هم جهت است.

شروع عملیات: نخست گزینه Extraction را از پنجره Operation انتخاب می کنیم. فلز مس، دقت متوسط و واحد مورد نظر را از پنجره Start انتخاب می کنیم. نوع جریان هر مرحله را مطابق صورت مسئله Cocurrent انتخاب می کنیم. در صفحه بعد (Equilibrium Curve)، چون معادله منحنی تعادلی را نداریم، گزینه None را انتخاب می کنیم. با فشردن Next صفحه رده ۲ سوالات ظاهر می شود که با وارد کردن اطلاعات بالا، می توان پاسخ را دریافت کرد.

$$\text{حل رایانه: } Y=4.36 + 0.70 \ln(x)$$

$$\text{حل بوسیله کاغذ رسم: } Y=4.3 + 0.7 \ln(x)$$

همانگونه که دیده می شود، دقت نرم افزار رضایت بخش است و محاسبات تنها با آنالیز یک جریان فاز آلی (که آنالیز آن هزینه بردار است) بدست آمده است.

سپاسگزاری

بدینوسیله مراتب سپاسگزاری خود را از جناب آقای دکتر محمد خشنودی، استاد راهنما، جناب مهندس آتش دهقان و مهندس دانش پژوه به جهت همکاریهای بی دریغ ایشان، ابراز می دارم.

مراجع

۱- دکتر محمد خشنودی، "آشنائی با نرم افزارها و شبیه سازهای فرآیندهای شیمیایی"، مجله شیمی سال نهم، شماره اول، ۱۳۷۵.

۲- دکتر حکمت رضوی زاده و دکتر رامز وقار، "متالورژی مس" دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ دوم، اردیبهشت ۱۳۷۲

3- G.M.RITCEY: "SOLVENT EXTRACTION part I", ELSEVIER, Ottawa, 1984.

4- ROBERT E. TREYBAL: "LIQUID EXTRACTION", Mc Graw-Hill, London, 1980.

مدلسازی رایانه ای فرآیند استخراج مس توسط حلال آلی تحت فرآیند استخراج مایع- مایع

رضا توضیح محمد خشنودی^۱ - رضا آتش دهقان^۲ - شهرام دانش پژوه^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه علوم و فنون مازندران

۲- استاد مهندسی شیمی دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۶۰-۴۴۶۲۵۱ (۰۵۴۱)، ۴۴۷۰۹۲ (۰۵۴۱)

۳- رئیس واحد تحقیقات هیدرومتالورژی مس سرچشمه، ۳۵۹۳ (۰۳۹۲۲۸۲)، Dehghan@ nicico.com

۴- کارشناس واحد تحقیقات هیدرومتالورژی مس سرچشمه، ۲۴۴۸ (۰۳۹۲۲۸۲)

چکیده

در فرآوری مس از سنگهای اکسیدی و بویژه کربناتها از روش هیدرومتالورژی استفاده می شود. بدین ترتیب که ابتدا خرده سنگهای حاصله از انفجار را بصورت توده های عظیمی (Heap) درکنار معدن قرار می دهند. سپس اسیدسولفوریک رقیق شده را از بالای توده بصورت اسیدپاشی قطره ای روی توده می پاشند. مخلوط آب و اسید، مس را در خود حل کرده و از پایین توده و از روی یک لایه مقاوم در برابر اسید خارج می شود. چون غلظت مس در این فاز آبی کم است، از اینرو برای فرآوری با صرفه مس از آن، غلظت مس در این فاز آبی را توسط عملیات فرآوری مایع- مایع، افزایش می دهند. در این فرآیند از یک فاز آلی که فرآیند انتقال مس را بخوبی انجام می دهد، به عنوان یک فاز واسطه استفاده می کنند. این فاز آلی در مرحله فرآوری، مس را از فاز آبی اولیه می گیرد و آن را در فاز آبی نهایی (الکترولیت) غلیظ می کند. حل مسایل واحد SX، ترسیمی است و به دقت و زمان زیادی نیاز دارد. برای رفع این مشکل نرم افزاری تهیه شده است. این مقاله به بررسی برخی از ویژگیهای نرم افزار و دلایل تهیه و کاربرد آن می پردازد.

واژه های کلیدی: خیس شویی (Leaching) - منحنی های تعادلی - خطوط تبادل - استخراج مس - جریان ناهمسو

مقدمه

امروزه با توجه به گستردگی علوم و سرعت پیشرفت آن، رایانه را باید به عنوان یک محاسبه گر مناسب و سریع در تشخیص جزئیات فرآیند بکار برد. نرم افزارهای زیادی در زمینه مهندسی شیمی در دسترس هستند و کاربرد آنها در دانشگاهها، پژوهشگاهها و صنایع گوناگون در حال گسترش است. توانایی ها و قابلیت های آنها چنان در حال تکمیل و بهبود است که شاید بزودی بتوان هر آزمایش شیمیایی و یا فرآیند صنعتی شیمیایی را با دقت کافی انجام داد و تکرار کرد.

می توان بدون استفاده از دستگاههای عملیات واحد گران قیمت و بدون نیاز به مصرف مواد انرژی، در شرایط مختلف فشار و دما به دور از خطرهای احتمالی، فرآیندهای پیچیده و گوناگون را در ذهن کامپیوتر انجام داد و نتایج بدست آمده را به صورت گزارشهای جدول بندی شده یا نمودارهای گویا بررسی نمود.

۱- ساختار شبیه ساز و ویژگیهای آن

این نرم افزار به زبان *Visual Basic 5.0* نوشته شده است، بنابراین امکان دستیابی به تواناییهای سیستم عامل *Windows* را دارد ساختار شبیه ساز دارای نظم تسلسلی (*Sequential Modular Approach*) می باشد. برای شروع عملیات ابتدا کاربر جهت جریانها را نسبت به هم مشخص نموده، آنگاه با دادن اطلاعات مربوط به جریانهای ورودی واحد و پارامترهای مربوط به دستگاهها، مقادیر جریانهای خروجی محاسبه می شوند. در شکل (۱)، شماری از تصاویر شبیه ساز نمایش داده شده است. کارایی صنعتی بهینه، سادگی جهت استفاده کاربر و عدم محدودیت در بسیاری داده های ورودی، از ویژگیهای نرم افزار *Solex* (*Solvent Extraction*) است.

۲- توانمندیهای نرم افزار

الف) توانمندیهای صنعتی

- ۱- امکان طراحی متالورژیکی هریک از واحدهای فرآوری و جریان سازی مستقل از دیگری.
- ۲- امکان انتخاب فلز دلخواه (استخراج شونده مورد نظر)، دقتهای عملیات و واحدهای صنعتی رایج
- ۳- امکان انتخاب نوع تماس جریان هر مرحله (نوع تماس جریان کلی واحد ناهمسو است).
- ۴- امکان دستیابی به معادله منحنی تعادلی بوسیله:
الف) نقاطی از منحنی تعادلی که به وسیله آزمایش یا از روشهای دیگر بدست آمده است.

- ب) اطلاعاتی در مورد حلال و شرایط سیستم (مانند pH، اسیدیته، دما و).
- ج) برخی پارامترهای عملیاتی مانند تعداد مراحل، بازده مراحل، غلظت فلز در جریانهای آبی یا آلی، نسبت و دبی فازها و....
- ۵- امکان انتخاب مجهولات مورد نظر توسط کاربر.
- ۶- امکان حل مجهولات تعیین شده توسط دسته سوالات مشخص.
- ۷- ارائه پاسخهای عددی در کنار رسم نمودارهای تعادلی و نمودار جریان واحد.
- ۸- امکان ایجاد بانکهای اطلاعاتی با توانمندی بالا از جمله مرتب سازی، چاپ اطلاعات، جستجو، حذف و اضافه (به طور خودکار) (Auto Increase).
- ۹- امکان نگهداری و ذخیره سازی گزارشهای روزانه و اطلاعات مورد نیاز واحد پالایش الکتریکی و فرآوری با حلال (SX-EW).

ب) توانمندیهای آموزشی

- ۱- امکان پخش یک فیلم آموزشی در زمینه فرآوری با حلال و معرفی تجهیزات آن.
- ۲- امکان ارائه اطلاعات مفید در زمینه معدن سرچشمه، استخراج کننده ها و رقیق کننده های آلی تجاری و تجهیزات فرآور با حلال.

۳- محدودیتها

- ۱- این نرم افزار حالت پایا (Steady State) را بررسی می کند.
- ۲- این نرم افزار برای انجام فرآوری سیستمهای سه جزیی و دوفازی طراحی شده است.
- ۳- جریان در کل عملیات فرآوری و جریان سازی، ناهمسو (Countercurrent) در نظر گرفته شده است.
- ۴- معادله عمومی منحنی تعادلی فرآیند فرآوری و جریان سازی، با ساختار $y = A + B \ln(x)$ فرض شده است.

۴- روش تحقیق

برای تهیه این شبیه ساز، نخست مطالعاتی بر روی واحد خیس شویی مجتمع مس سرچشمه صورت گرفت. سپس فرآیند فرآوری مایع- مایع مربوط به واحد (Sx) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده به روشهای ترسیمی (نمودارهای مک کیب- تیلی) (McCabe-Thiele) برای حل مسایل واحد انجامید. تبدیل روشهای ترسیمی به محاسبات ریاضی و سرانجام تبدیل محاسبات ریاضی به محاسبات رایانه ای آخرین مرحله تهیه نرم افزار است.

۵- نتیجه گیری

با حل یک مثال کارایی نرم افزار نشان داده می شود.
مثال: مطلوب است محاسبه معادله منحنی تعادلی فرآوری واحدی با ویژگیهای زیر:
تعداد مراحل فرآوری: ۲ مرحله- غلظت مس در ورودی فاز آبی به مرحله اول: ۳/۵ گرم بر لیتر- غلظت مس در خروجی فاز آبی از مرحله دوم: ۰/۳۵ گرم بر لیتر - غلظت مس در فاز آبی خروجی از مرحله اول ۱/۹ گرم بر لیتر- غلظت مس در فاز آلی ورودی به مرحله اول ۴/۵۷ گرم بر لیتر- نسبت دبی دوفاز: ۱ و بازده هر دو مرحله ۹۰٪ باشد. نوع جریان هر مرحله هم جهت است.
شروع عملیات: نخست گزینه Extraction را از پنجره Operation انتخاب می کنیم. فلز مس، دقت متوسط و واحد مورد نظر را از پنجره Start انتخاب می کنیم. نوع جریان هر مرحله را مطابق صورت مسئله Cocurrent انتخاب می کنیم. در صفحه بعد (Equilibrium Curve)، چون معادله منحنی تعادلی را نداریم، گزینه None را انتخاب می کنیم. با فشردن Next، صفحه رده ۲ سوالات ظاهر می شود که با وارد کردن اطلاعات بالا، می توان پاسخ را دریافت کرد.

$$\text{حل رایانه: } Y = 4/36 + 0/7 \cdot \ln(x)$$

$$\text{حل بوسیله کاغذ رسم: } Y = 4/3 + 0/7 \cdot \ln(x)$$

همانگونه که دیده می شود، دقت نرم افزار رضایت بخش است و محاسبات تنها با آنالیز یک جریان فاز آلی (که آنالیز آن هزینه بردار است) بدست آمده است.

سپاسگزاری

بدینوسیله مراتب سپاسگزاری خود را از جناب آقای دکتر محمد خشنودی، استاد راهنما، جناب مهندس آتش دهقان و مهندس دانش پژوه به جهت همکاریهای بی دریغ ایشان، ابراز می دارم.

مراجع

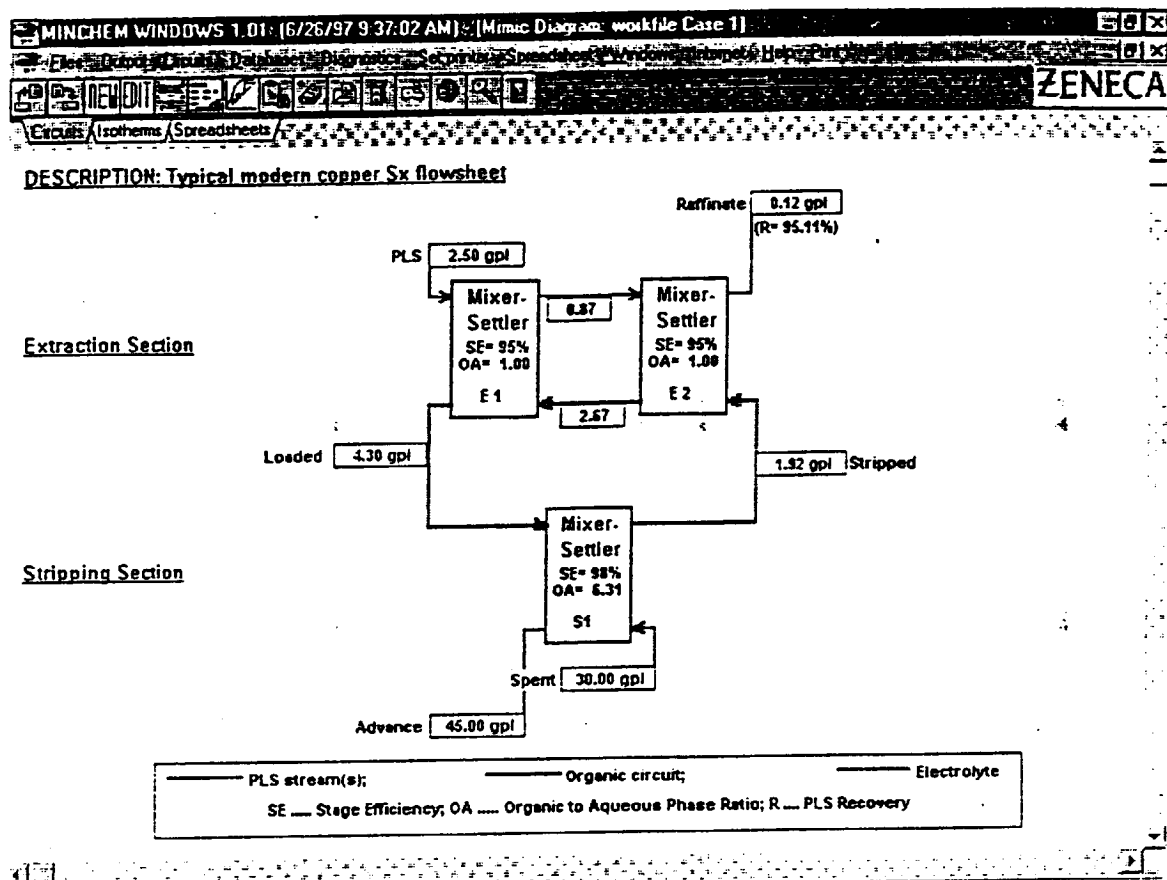
- ۱- دکتر محمد خشنودی، "آشنائی با نرم افزارها و شبیه سازهای فرآیندهای شیمیایی"، مجله شیمی سال نهم، شماره اول، ۱۳۷۵.
- ۲- دکتر حکمت رضوی زاده و دکتر رامز وقار، "متالورژی مس" دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ دوم، اردیبهشت ۱۳۷۲.
- 3- G.M.RITCEY; "SOLVENT EXTRACTION part I", ELSEVIER, Ottawa, 1984.
- 4- ROBERT E. TREYBAL; "LIQUID EXTRACTION", Mc Graw-Hill, London, 1963.

پیوست ۳

تصاویری از نرم افزار Isocalc ساخته شرکت

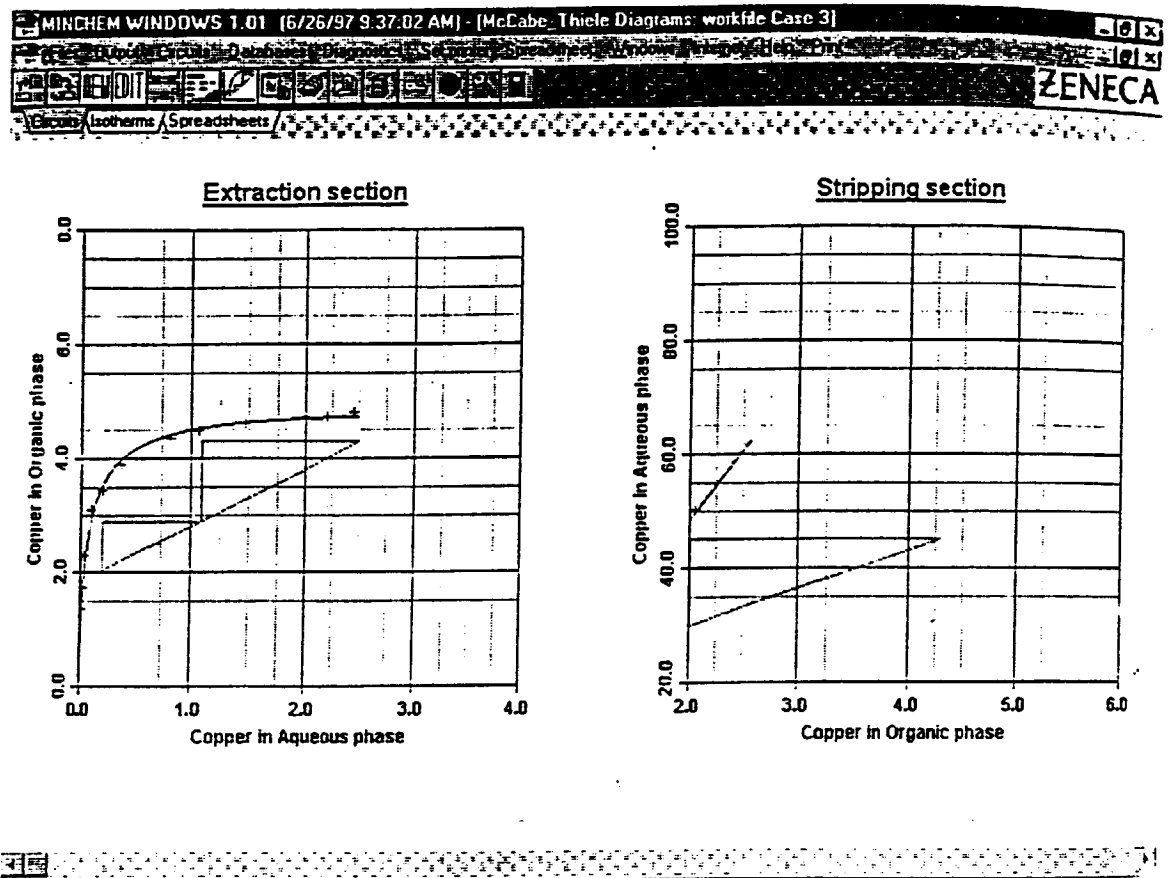
ZENECA

Figure 15
Typical SX Flowsheet – Optimised



PLS — 2.5 g/L Cu, pH = 2.0
Organic — 8.8 vol% M5640
Spent Electrolyte — 30 g/L Cu, 180 g/L Acid

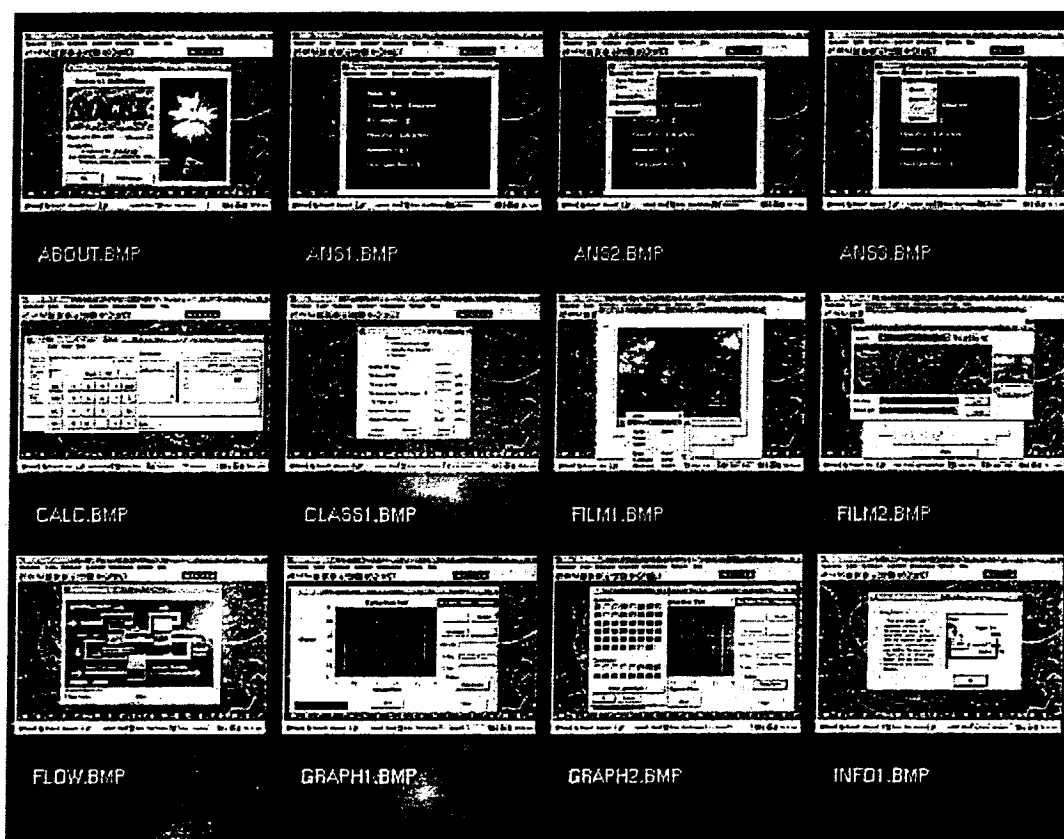
Figure 6
McCabe Thiele Diagrams

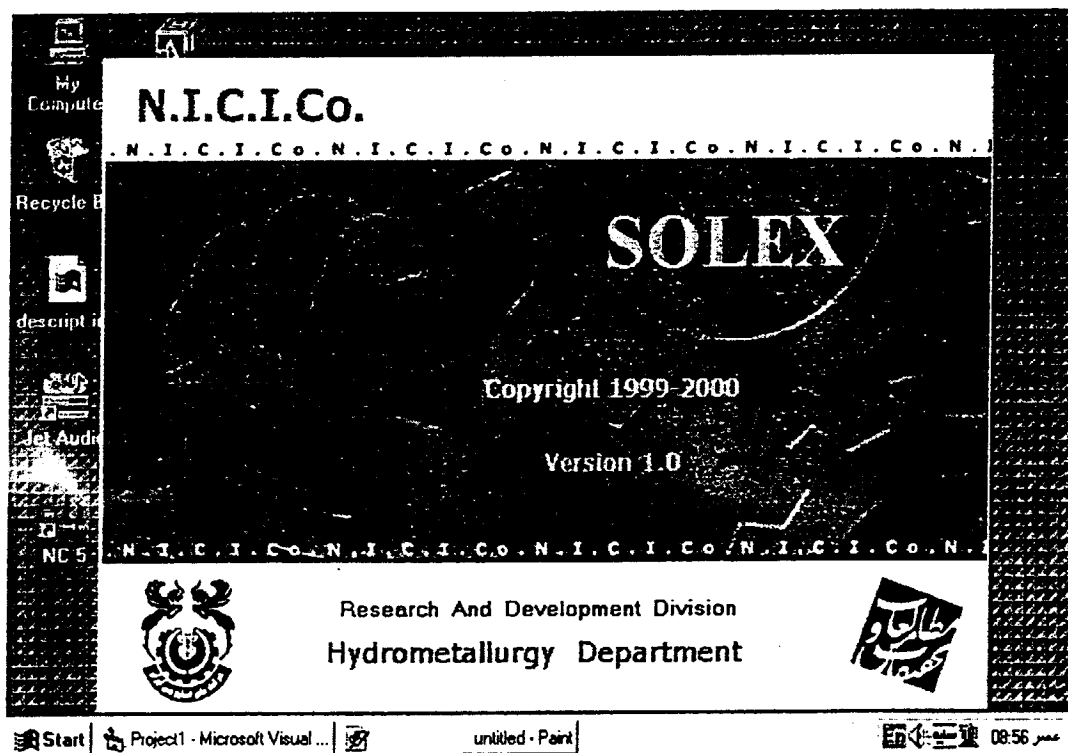


پیوست ۴

تصاویری از نرم افزار Solex ساخته شرکت

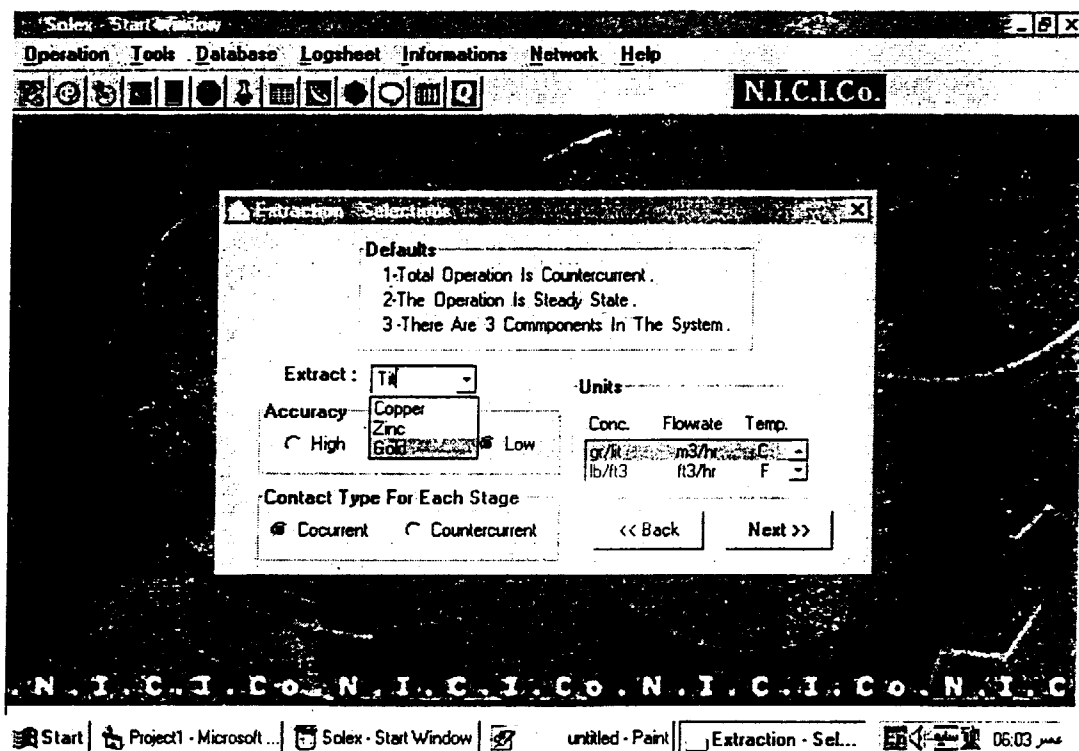
N.I.C.I.Co.

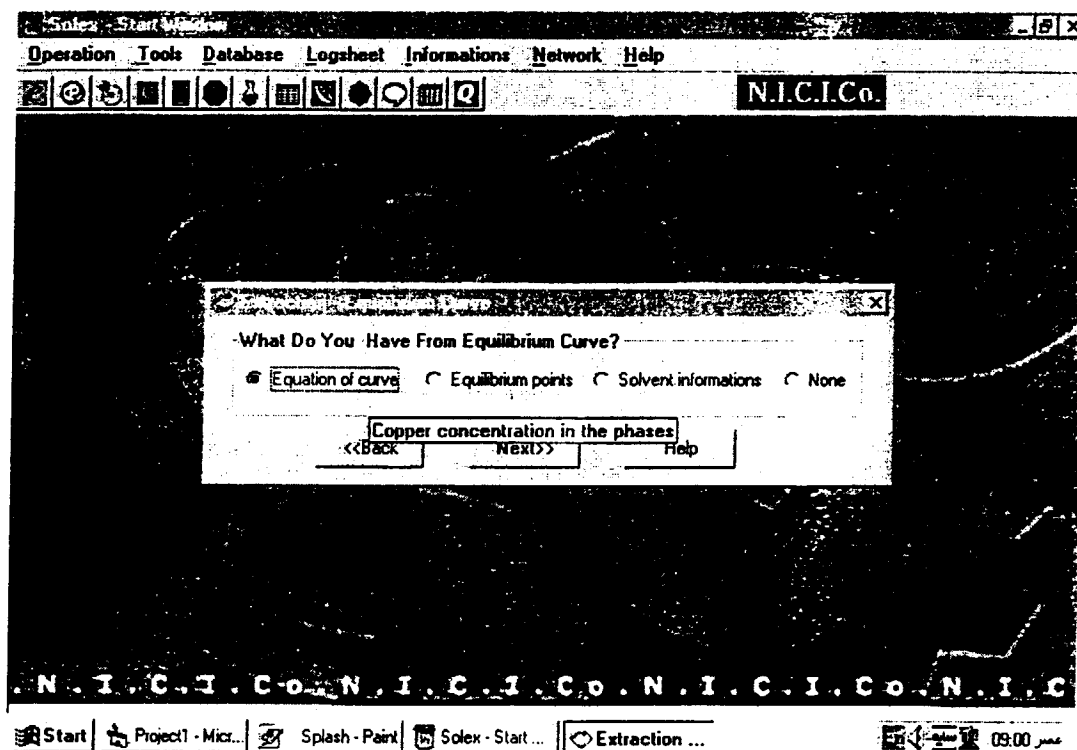


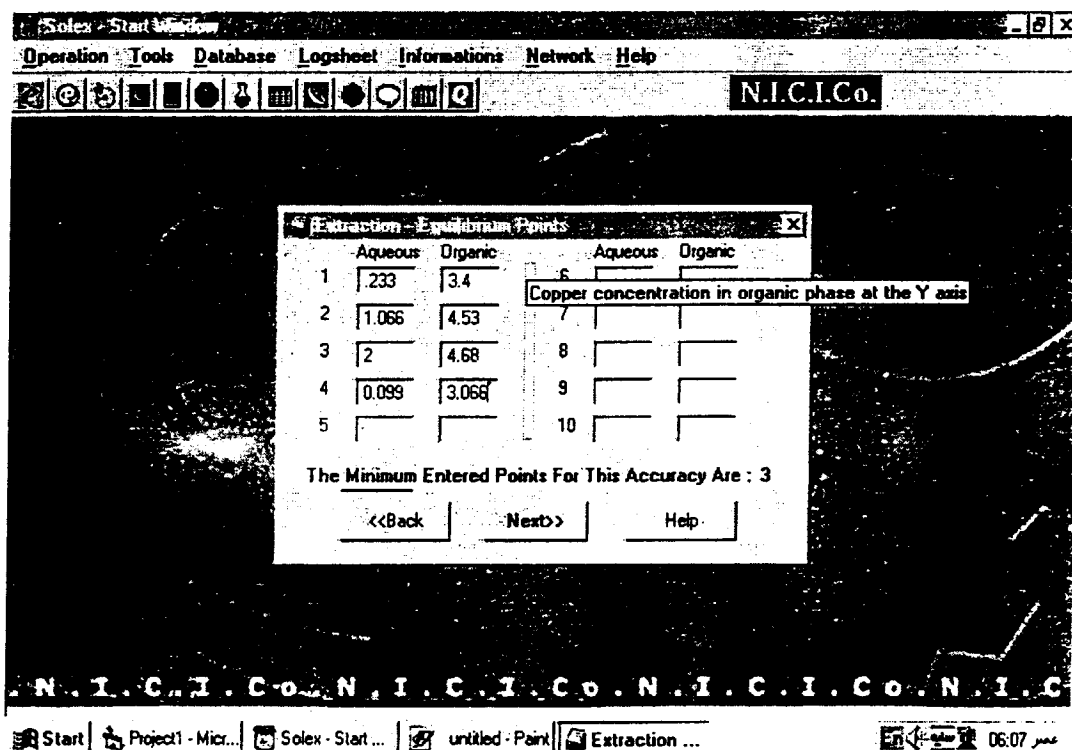


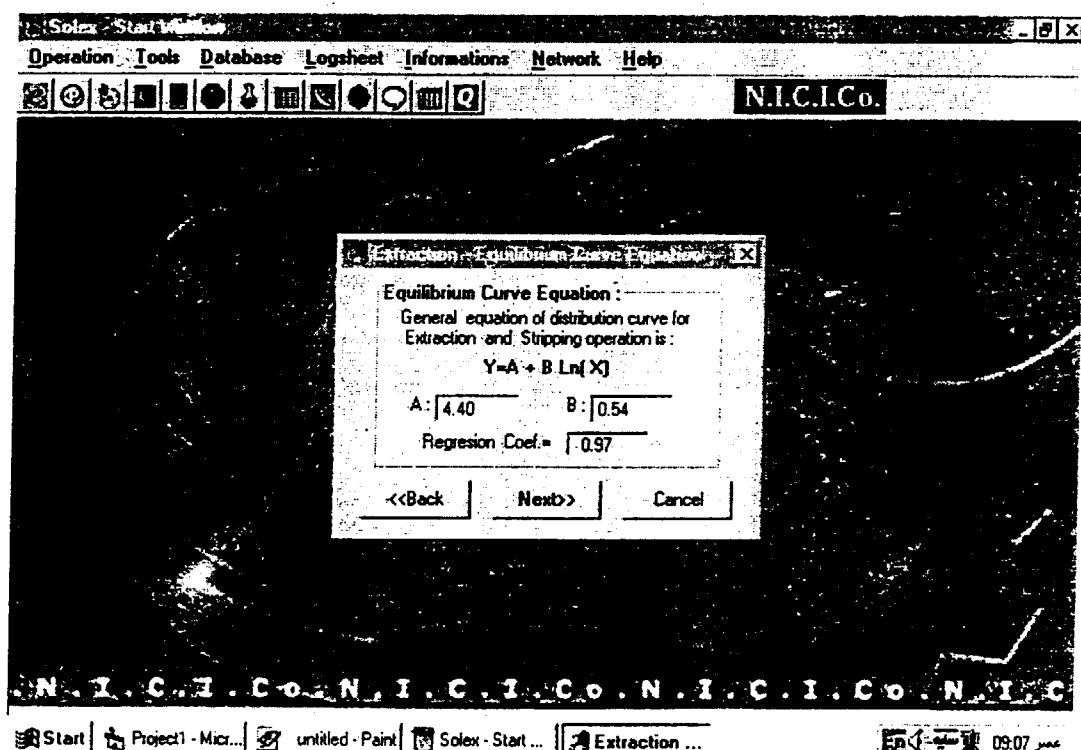


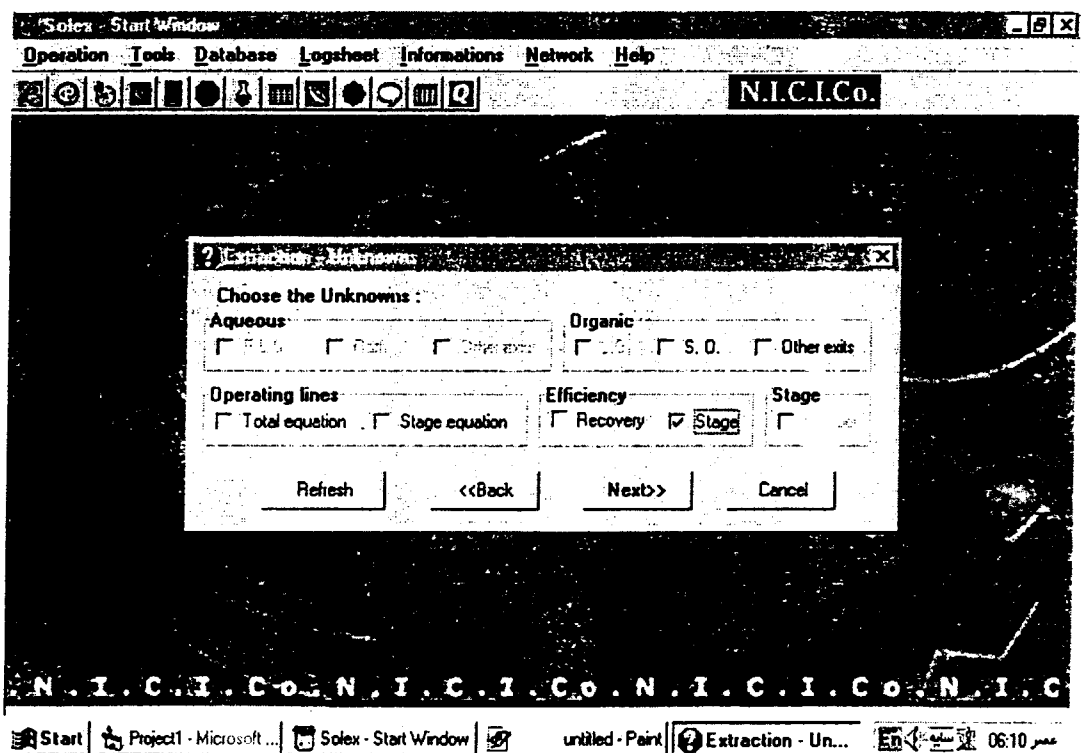


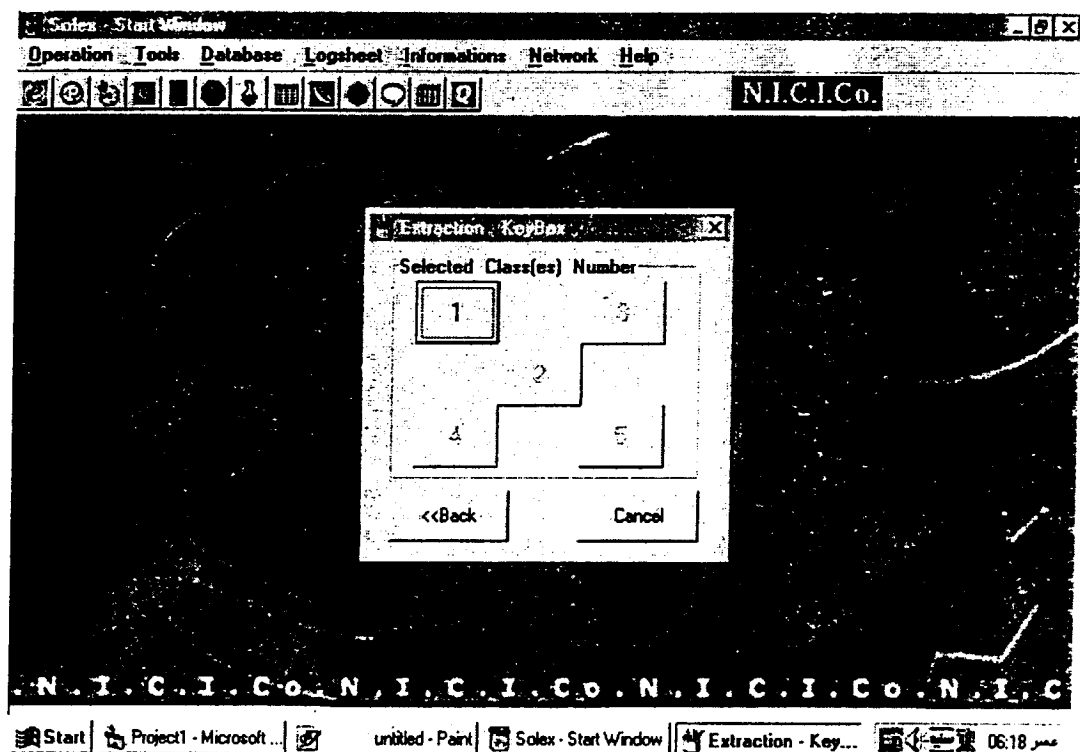


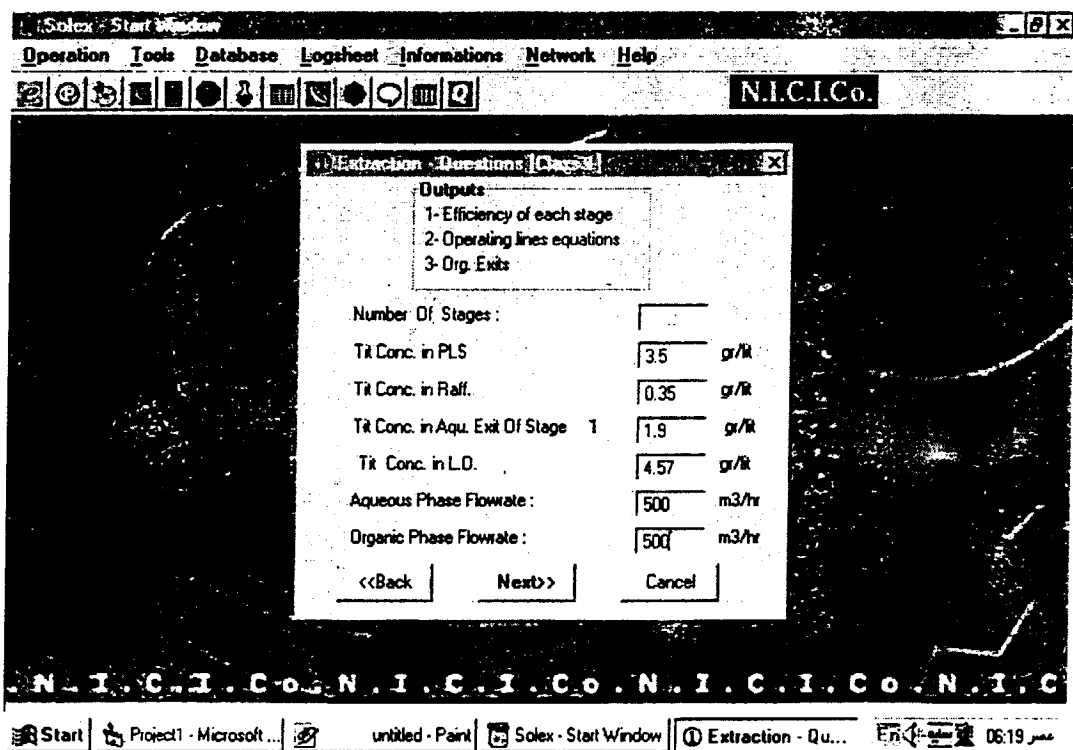


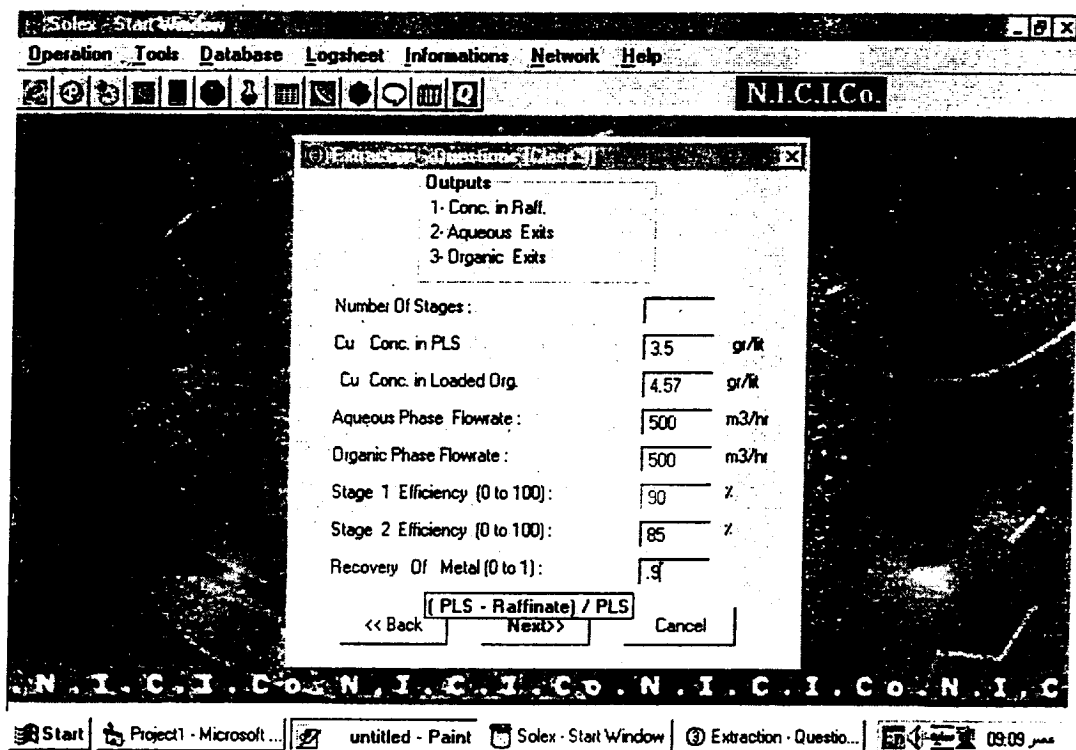


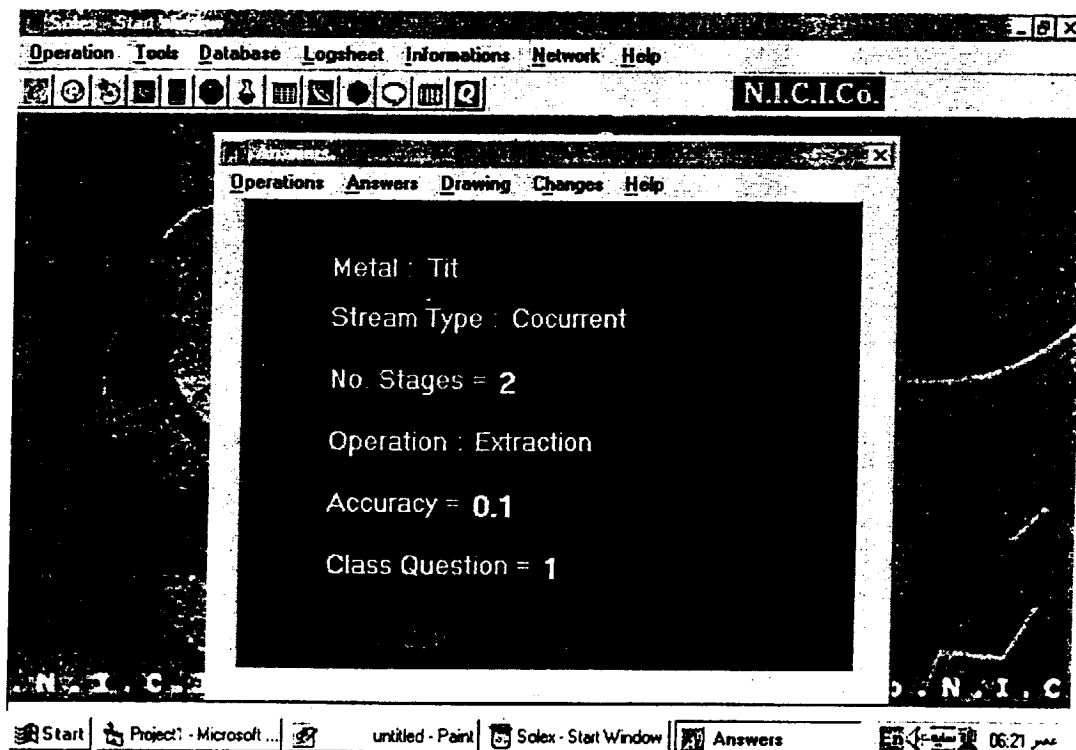


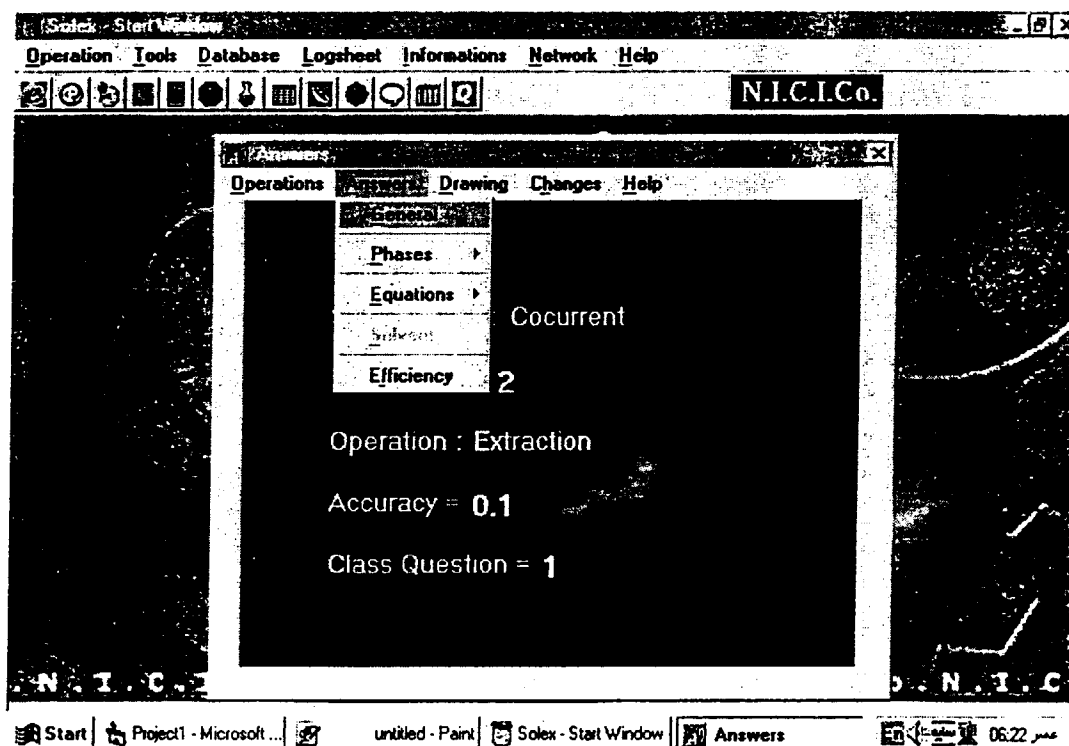


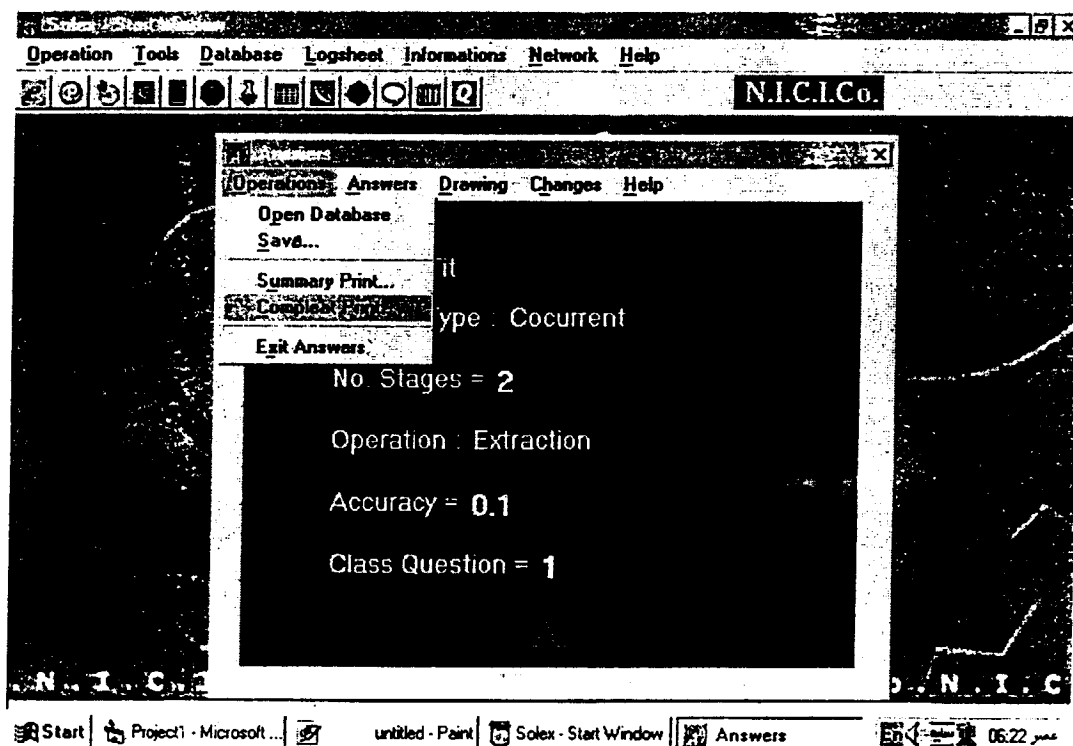


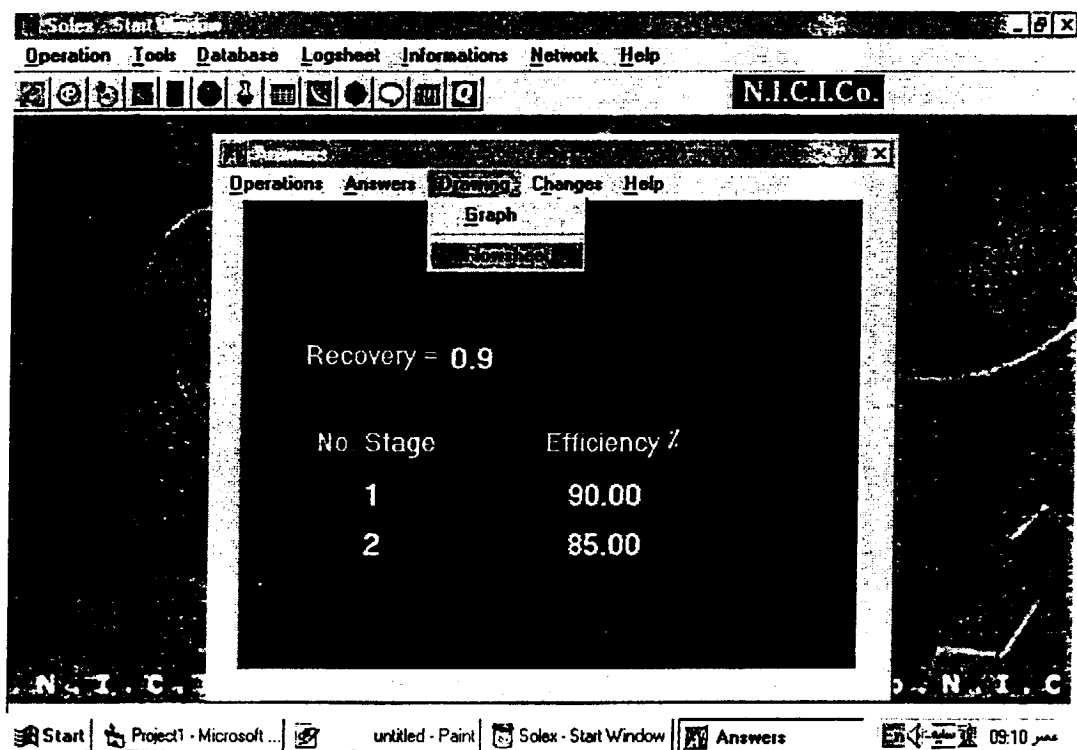


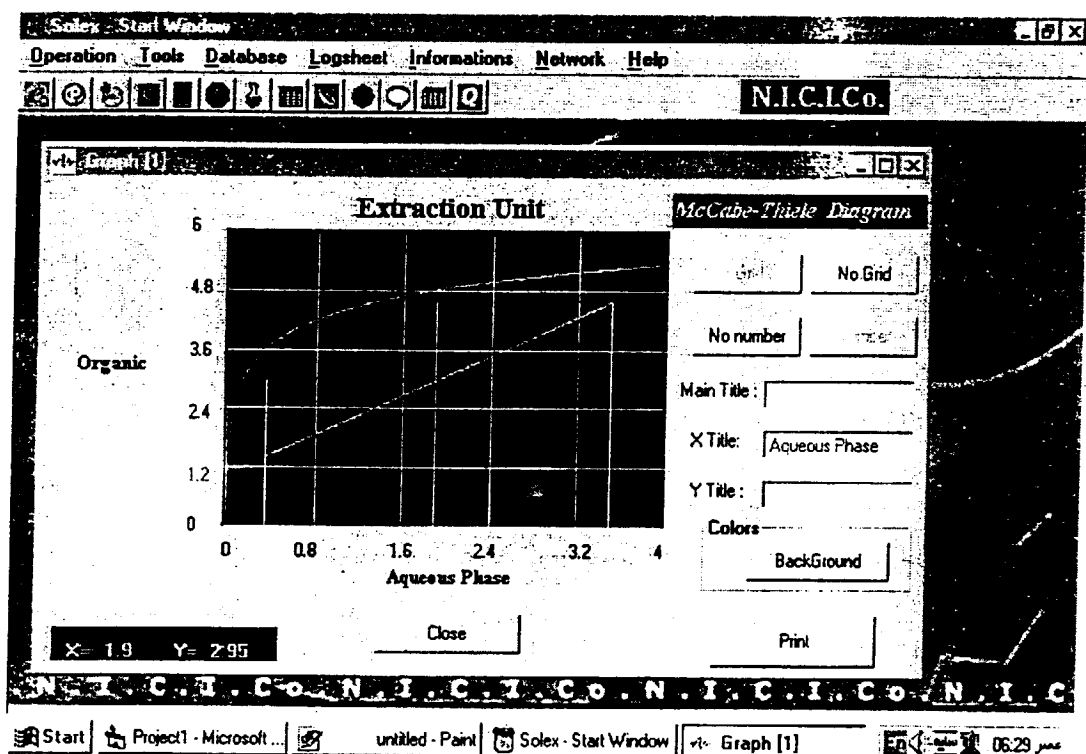


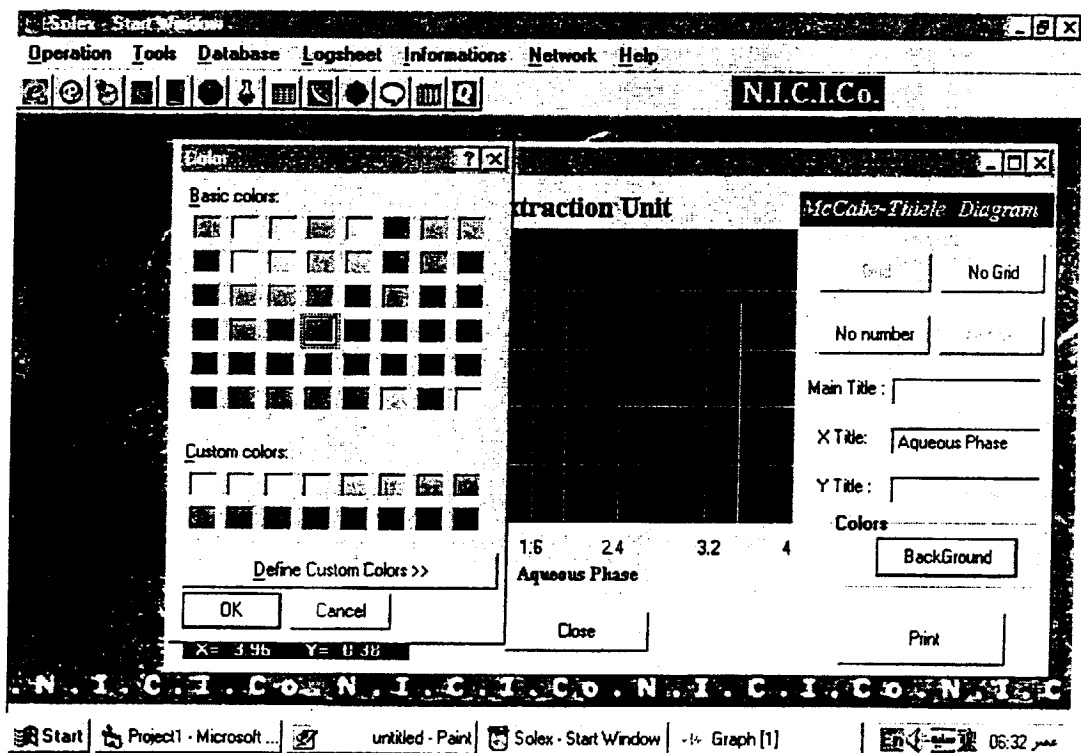


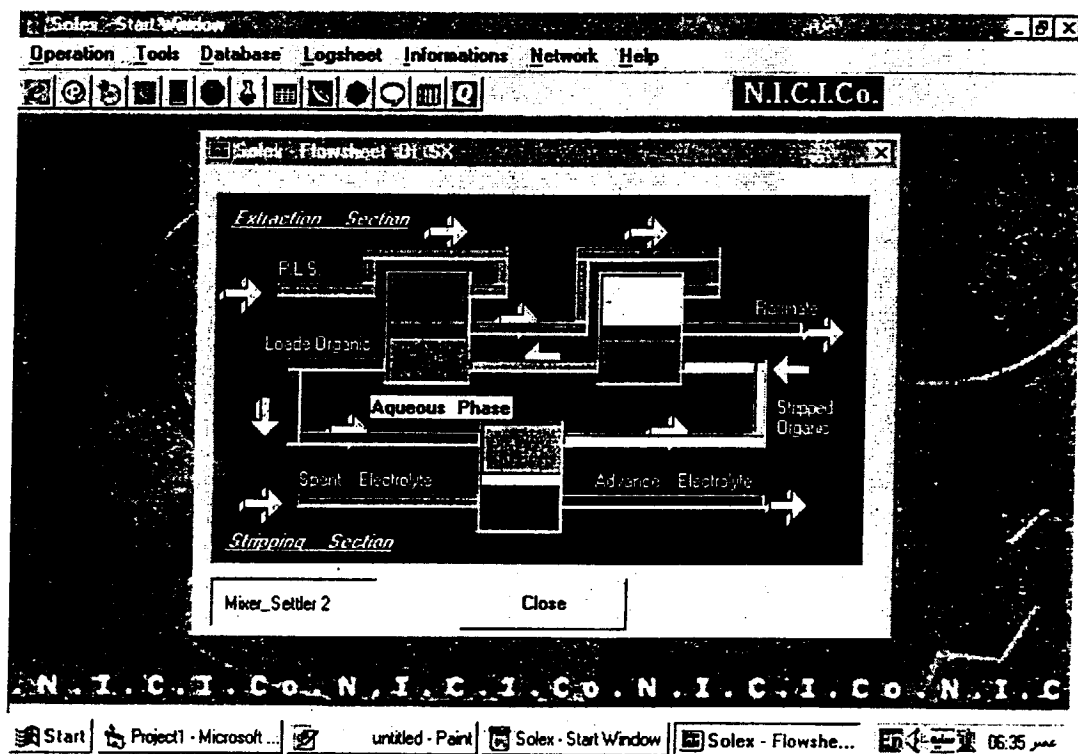




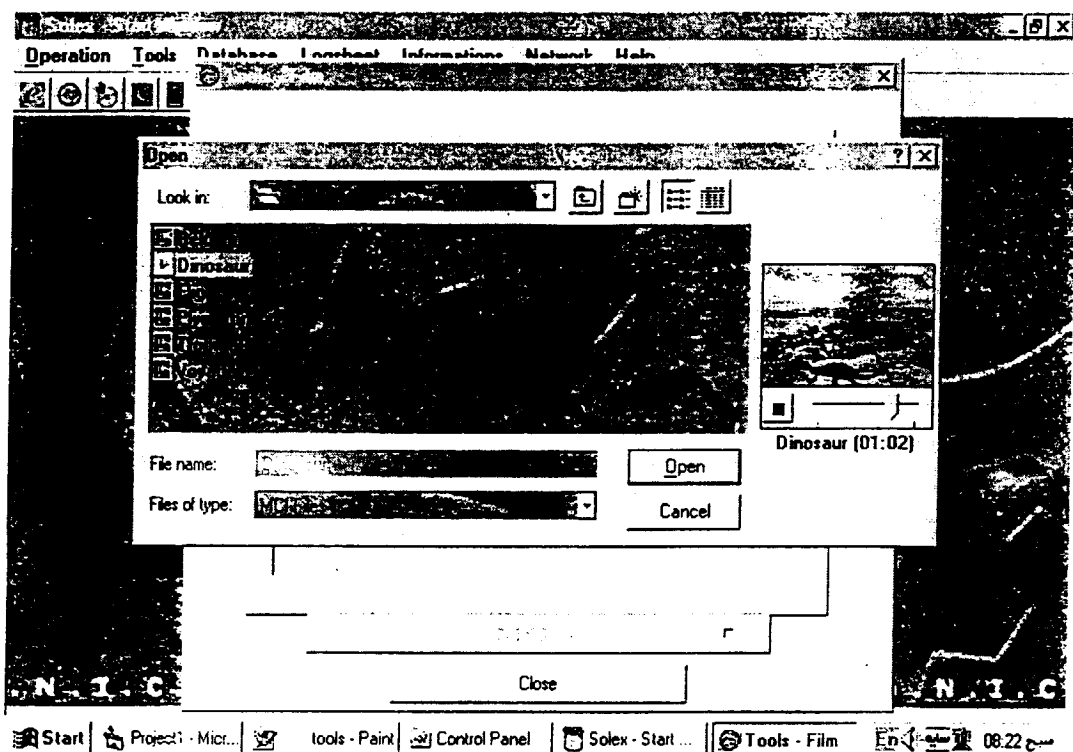


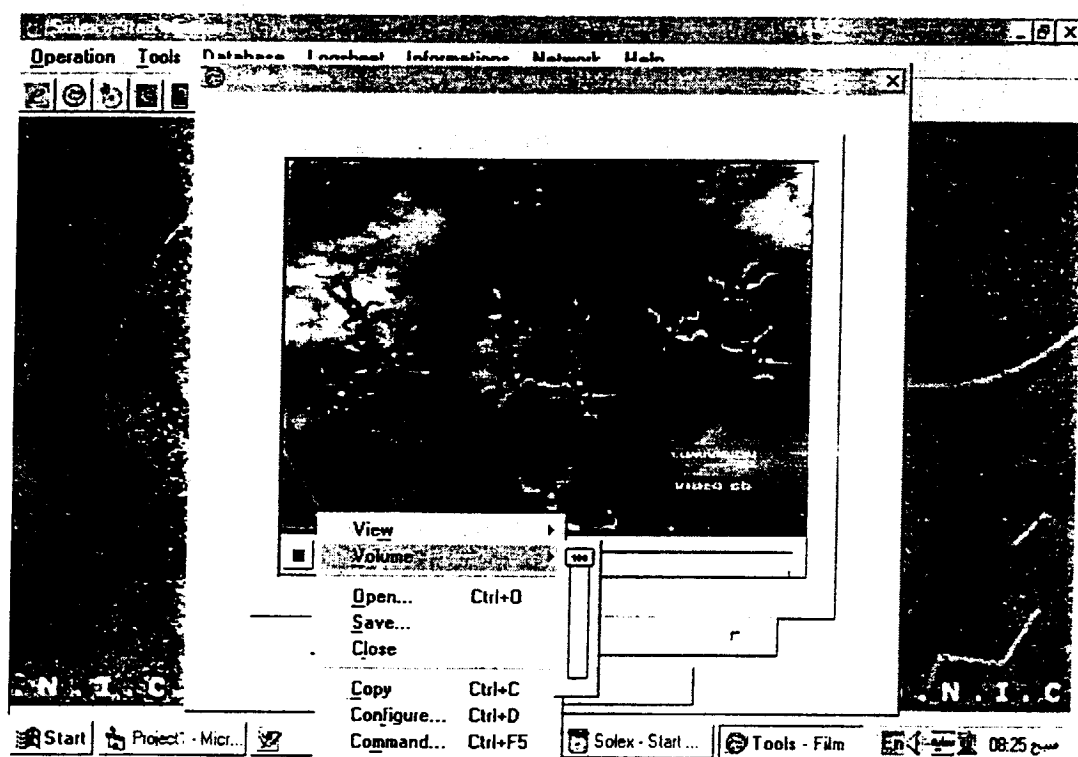












Logsheet SX-EW

Operation Tools Database Logsheet Informations Network Help

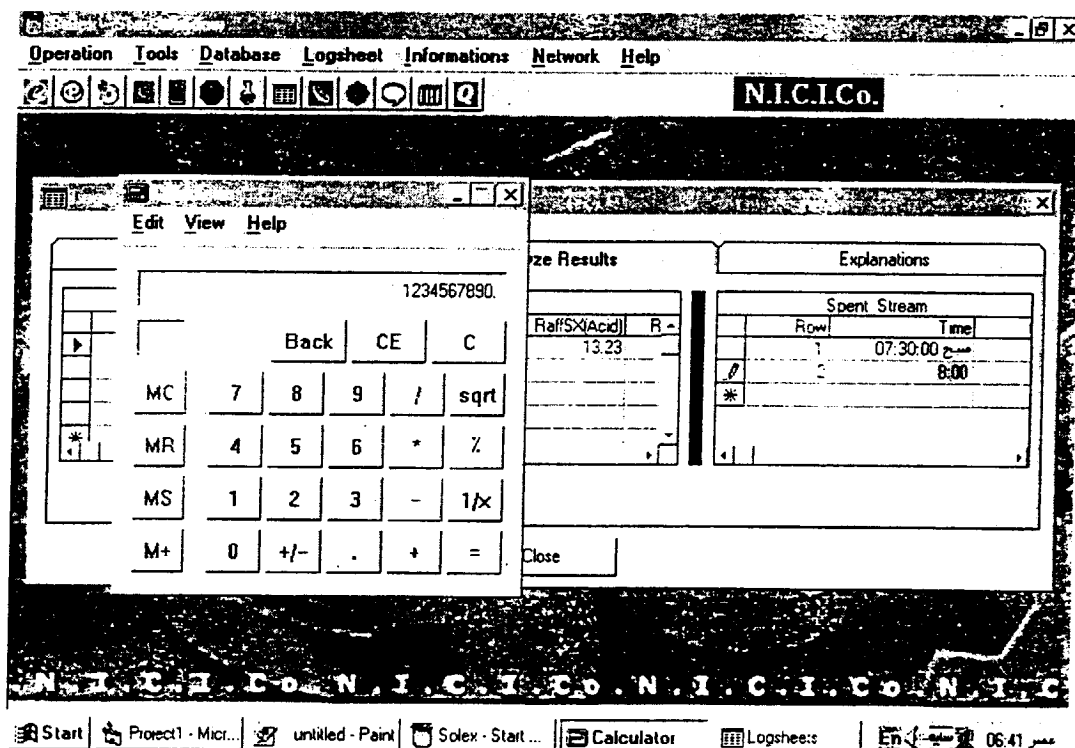
N.I.C.I.Co.

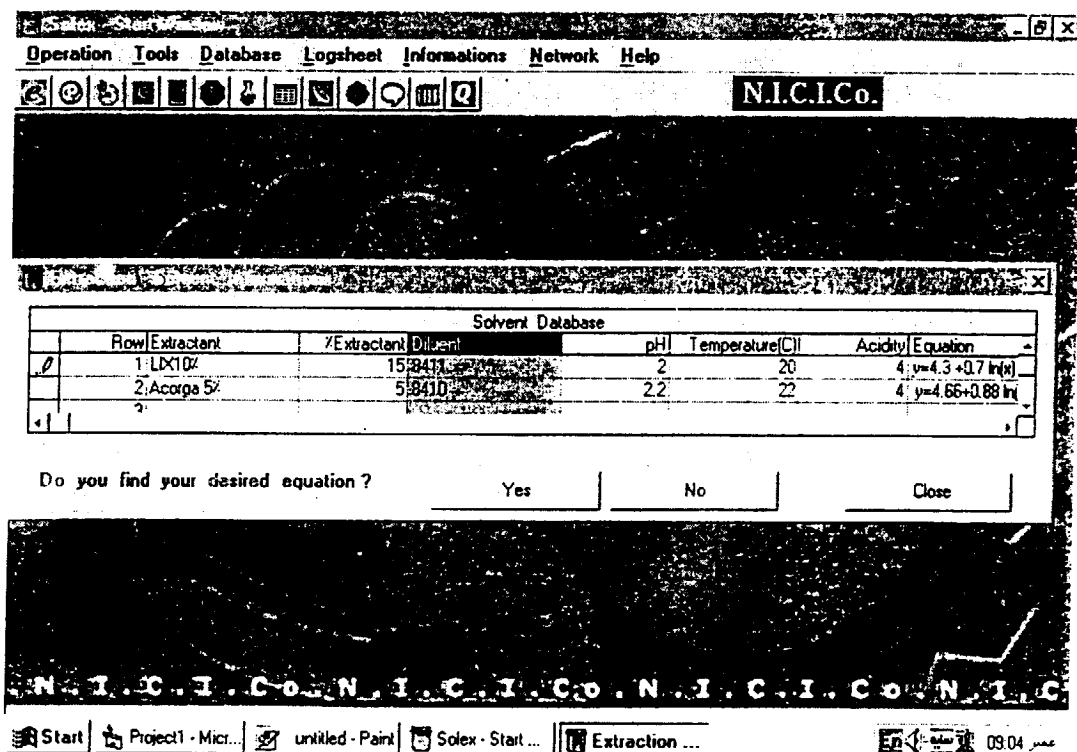
National Iranian Copper Industries Company

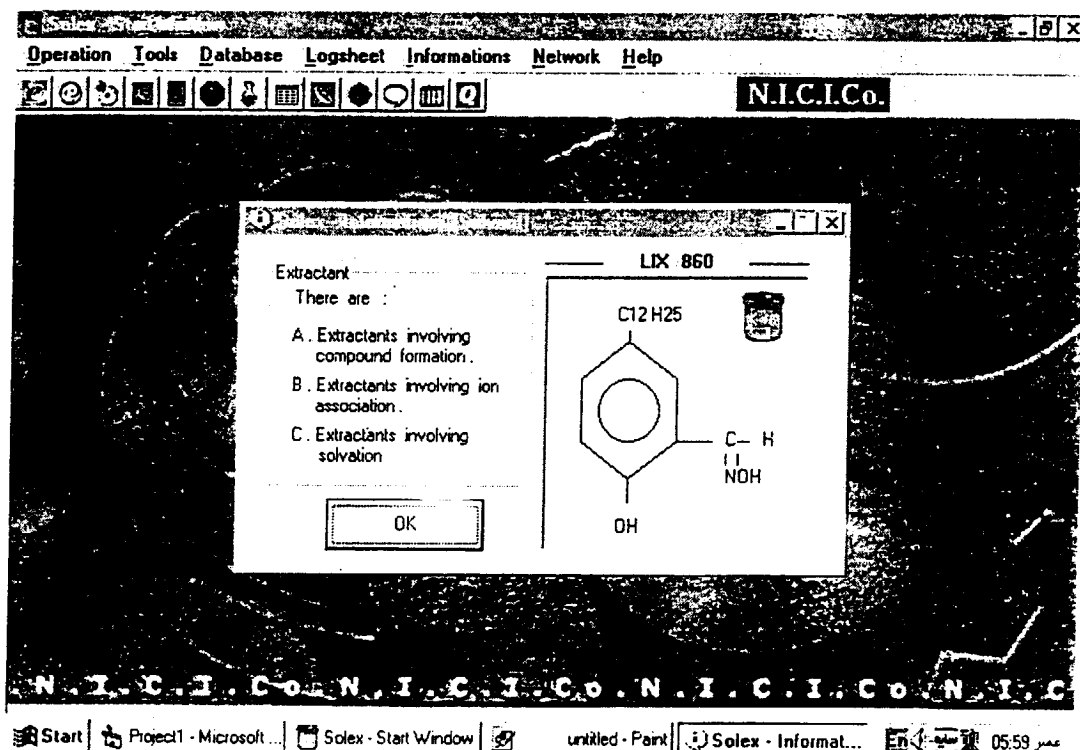
Row	Time	PLS(m3/h)	Raff(m3/h)	SP(m3/h)	ST(m3/h)	Org(m3/h)	EC(m3/h)	Acid Polm3/h
1	07:30:00 صبح	516	478	125	110	510	421	0.7
2	08:30:00 صبح	500	480	125	111	500	420	0.7
3	08:25:00 صبح	222	213	125	125	201	125	0.88

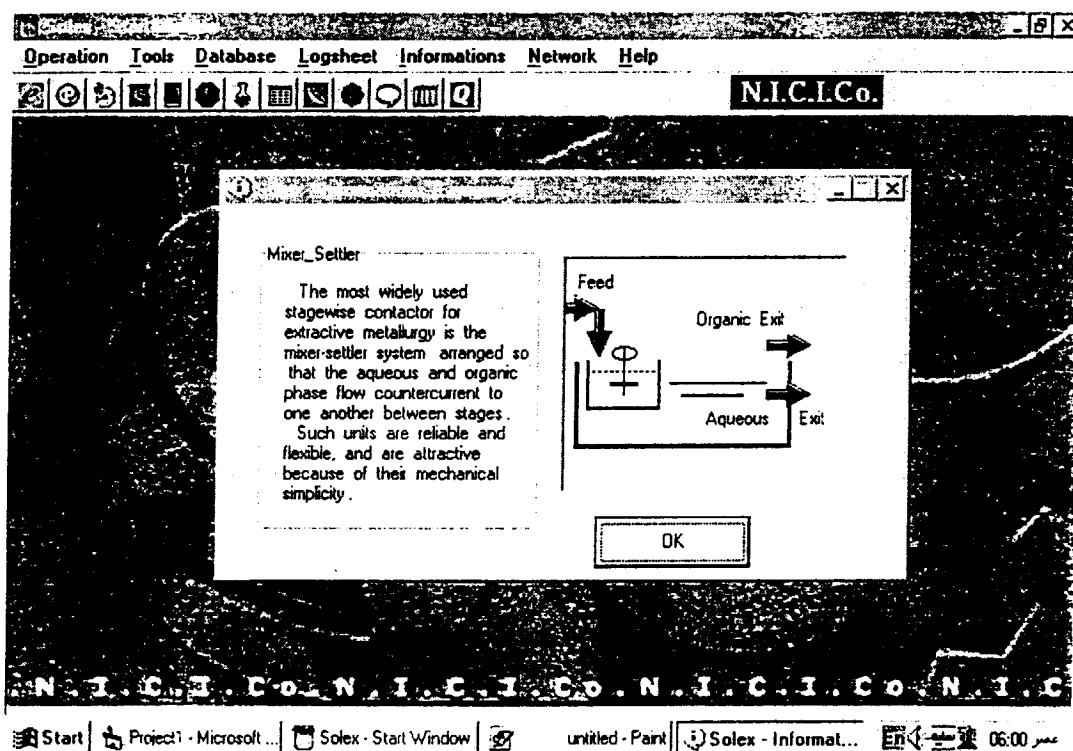
Close

Start Project1 - Microsoft Visual ... Solex - Start Window Logsheets 05:53

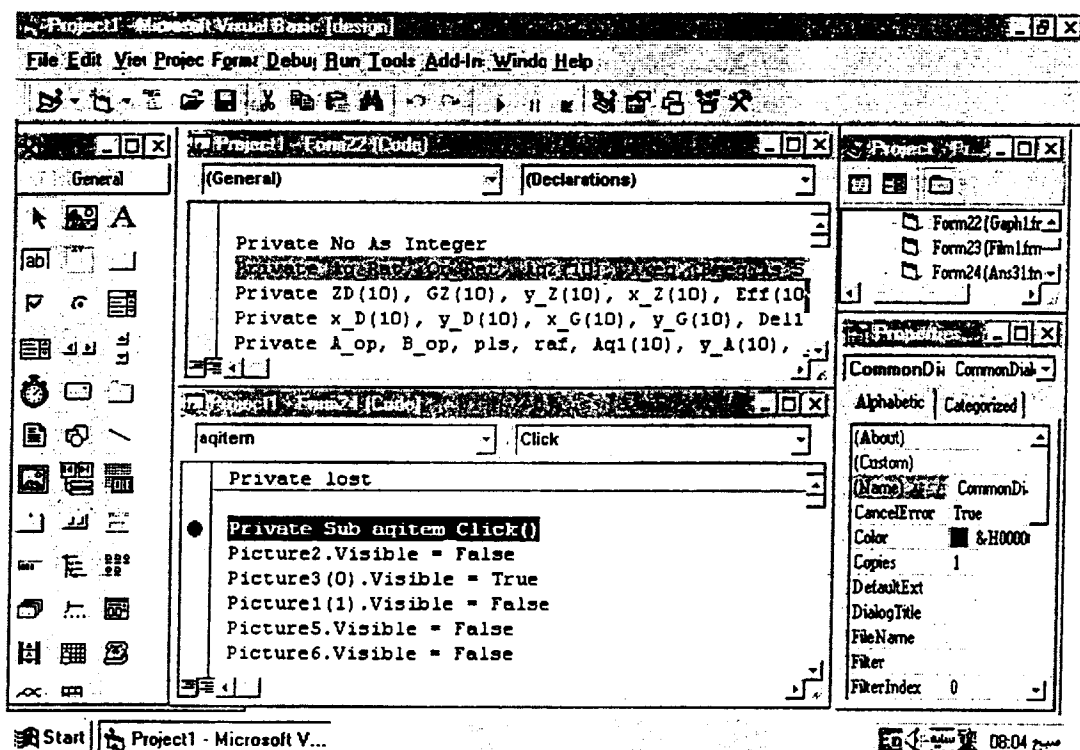




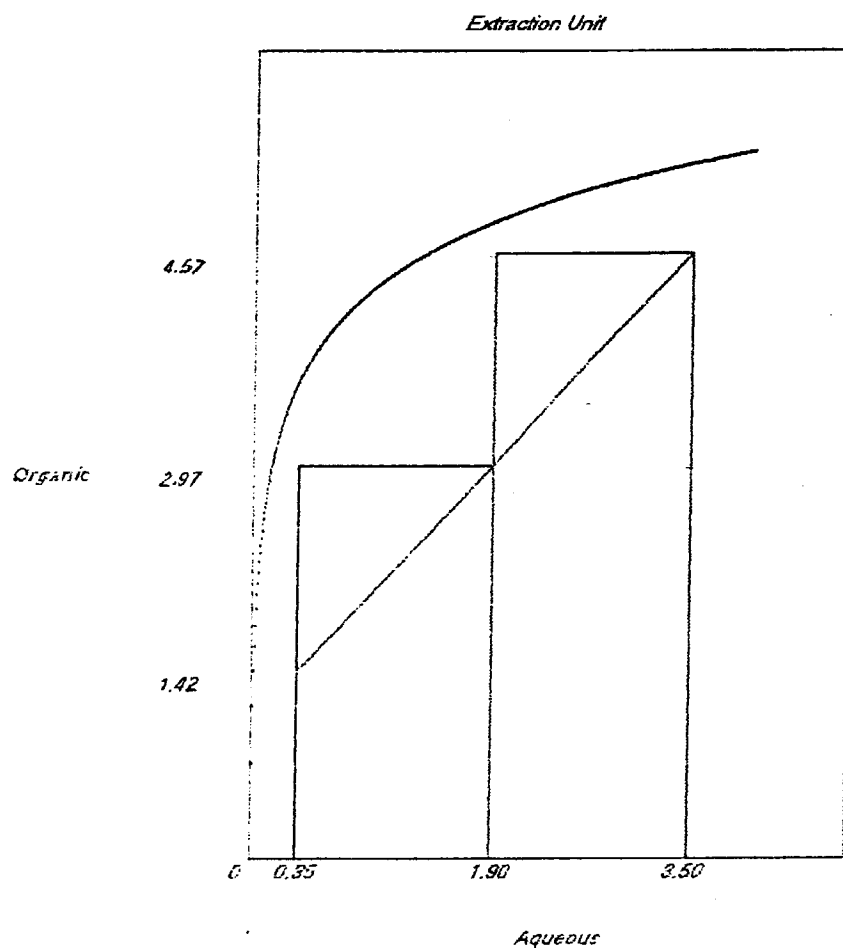








* Solex Graph (McCabe-Thiele Diagram)*
 * N.I.C.I.Co. _____ R&D *



----- SUMMARY REPORT OF SOLEX -----

L.O. = 4.57 gpl

P.L.S. = 3.50 gpl

S.O. = 1.42 gpl

RAFF. = 0.35 gpl

Or.Ext.= 2.97 gpl

Aq.Ext.= 1.90 gpl

Or.Rat.= 500 m3/hr

Aq.Rat.= 500 m3/hr

----- NOTE -----

----- END PRINT -----

----- COMPLEAT REPORT OF SOLEX -----

----- GENERAL -----

Metal : Cu Stream Type : Cocurrent

Operation : Extraction

----- PHASES -----

L.O. = 4.57 gpl

P.L.S. = 3.50 gpl

S.O. = 1.42 gpl

RAFF. = 0.35 gpl

Gr.Ext.= 2.97 gpl

Aq.Ext.= 1.90 gpl

Gr.Rat.= 500 m3/hr

Aq.Rat.= 500 m3/hr

----- EQUATIONS -----

Equilibrium Curve Equation = $4.36 + 0.71 \ln(X)$

Feed Operating Line Equation = $1.00 X + 1.07$

First Stage Operating Line Equation = $-1.00 X + 6.47$

Second Stage Operating Line Equation = $-1.00 X + 3.32$

----- EFFICIENCY -----

Eff. 1st St. = 91.19%

Eff. 2nd St. = 92.63%

Recovery Of Metal = 0.9

----- NOTE -----

----- END PRINT -----

پیوست ۵

گزارش کار روزانه واحد Sx

FLOW (m ³ /h)							TANK LEVEL (%)				LEVEL (m)		Acid	AIR
PLS	Raff	SP	ST	Circ	EC	Acid po.	Raff	ST	Org	EC	Pond	DM	EC	Pre.
516	478	125	110	510	421	0.7	60	85	34.2	80 ⁺	1.64	4.67	120	7.30
510	480	126	121	510	416	0.7	60	85	33.5	82	1.64	4.80	120	7.23
512	490	126	116	509	419	0.7	61	85	35.2	81	1.63	4.95	120	7.30
509	477	126	117	509	407	0.7	60	85	30.1	81	1.67	4.99	120	7.29
509	492	126	110	509	418	0.7	59	85	33.2	78 ⁺	1.68	4.99	120	7.30
512	490	125	105	510	412	0.7	60	85	31.2	79 ⁺	1.71	4.99	100	7.26
509	485	124	122	509	419	0.7	60	85	31.5	82	1.71	4.99	100	7.30
513	488	125	124	505	417	0.7	60	85	31.1	85	1.73	5.11	120	7.27
514	481	125	119	509	415	0.8	60	85	31.0	88	1.73	4.87	120	7.29
510	481	126	122	510	415	0.7	60	85	31.0	85	1.75	4.85	120	7.33
508	481	125	120	507	418	0.8	60	85	30.7	87	1.76	4.82	120	7.30
503	486	126	120	505	419	0.5	60	85	30.6	87	1.76	4.77	120	7.31
507	487	126	122	505	417	0.8	60	85	30.7	86	1.77	4.74	80	7.30
510	483	127	122	510	415	0.8	60	85	30.4	85	1.78	4.74	80	7.34
510	484	126	119	509	413	0.8	60	85	30.4	84	1.79	4.74	80	7.30
510	491	125	120	510	415	0.3	60	85	30.6	85	1.80	4.72	30	7.27
510	487	125	121	508	419	0.3	60	85	30.2	83	1.81	4.67	80	7.31
513	492	126	121	510	421	0.8	60	85	30.1	82	1.82	4.66	80	7.30
511	498	126	119	507	422	0.8	60	85	30.2	81	1.83	4.66	80	7.27
514	473	125	123	508	424	0.8	60	85	30.1	81	1.83	4.66	80	7.29
506	482	126	120	512	421	0.8	60	85	30.0	80	1.84	4.66	80	7.30
502	479	124	121	505	417	0.8	60	85	29.8	80	1.85	4.66	80	7.30
514	492	126	123	509	415	0.8	60	85	29.7	79	1.86	4.66	80	7.31
513	477	127	122	506	425	0.8	60	85	29.6	79	1.86	4.66	80	7.29

نتایج آنالیز

MPLE	CU	Acid	Time	CU	Acid	K.A
S	2.27	7.34	7:30	32.50	179.34	20
ff.Sx	0.35	13.23	11:00	33.05	180.32	20
ff.Pond	0.443	15.19	14:00	32.50	178.36	20
ong	41.10	166.60	15	32.90	182.23	20
ent	33.20	179.34	22	33.20	184.24	20
EC.Circu	36.10	179.42	Fe ²⁺ : 3.04 8% Co ²⁺ : 0.05 8%			

۷.۱.۱.۱۲

* توضیحات: ① افزایش سطح EL.Circulation sump (از 7.30 در ساعت 7:00 به دلیل افزایش آب DM است)
② افزایش سطح EL.Circulation sump از ساعت 12:00 به بعد به علت تخلیه آب DM است
www.iran-mavad.com مرجع دانشجویان و مهندسين مواد